دانشگاه اصفهان

دانشکده فیزیک

دستور کار

آزمایشگاه اپتیک

دوره کارشناسی

مهر ماه ۱۴۰۲

پیش گفتار

دستورکاری که پیش روی شماست، حاوی دوازده آزمایش اپتیک برای دوره‌ی کارشناسی فیزیک است که به همت آقایان دکتر اُحبسیان و کیاست پور طراحی و برپا شده است و به تدریج توسعه پیدا کرده است. در این دستور کار مطالب مربوط به هر آزمایش به طور خلاصه بیان شده است و فرض بر آن است که دانشجو درس اپتیک را گذرانیده است. با وجود این، مراجعه به کتابهای اپتیک برای درک مفاهیم فیزیک حاکم بر هر آزمایش بسیار توصیه می گردد.

در آزمایشگاه اپتیک رعایت موارد زیر ضروری است:

۱) قبل از ورود به آزمایشگاه دستور کار آزمایش را مطالعه نمایید.
۲) استفاده از تلفن همراه در میزهای آزمایش مجاز نیست زیرا باعث کاهش تمرکز شما می شود.
۳) وسایل اپتیکی بسیار گران قیمت هستند بنابراین در حین آزمایش با تمرکز و دقت زیاد با وسایل کار کنید.
۴) در حین انجام آزمایش دقت کنید تا دست شما سطوح اپتیکی را لمس نکند.
۵) در صورتی که اشکالی در ابزارهای آزمایش به وجود آمد استاد درس یا کارشناس آزمایشگاه را مطلع سازید.
۶) در حین انجام آزمایش، محاسبات مربوطه را انجام داده و از درستی داده برداری مطمئن گردید.
۷) هر گروه باید یک گزارش کار با رعایت کلیه نکات گزارش کار نویسی (شرح آزمایش، داده ها، خطا گیری، رسم نمودار و ...) تهیه کرده و هفته بعد به استاد درس تحویل دهد.

سرپرست آزمایشگاه اپتیک
دکتر سعید قوامی صبوری

فهرست آزمایش‌ها

شماره‌ی آزمایش	عنوان آزمایش	صفحه
۱	**اندازه‌گیری نمارشکست تیغه‌ی متوازی‌السطوح شیشه‌ای، آب و نمارشکست‌های عادی و غیرعادی بلور کلسیت**	**۳-۷**
۲	**اندازه‌گیری فاصله‌ی کانونی عدسی‌های ضخیم و دستگاه عدسی‌ها**	**۸-۱۱**
۳	**اندازه‌گیری نمارشکست منشور و محاسبه‌ی ضرایب کوشی**	**۱۲-۱۷**
۴	**تداخل نور بوسیله‌ی دومنشوری و دوآینه‌ای فرنل و اندازه‌گیری طول‌موج**	**۱۸-۲۲**
۵	**اندازه‌گیری فریزهای تداخلی مربوط به گوه‌های هوا (کروی و تخت) و اندازه‌گیری ضخامت ورقه‌های نازک**	**۲۳-۲۸**
۶	**اندازه‌گیری طول‌موج نور و نمارشکست هوا بوسیله‌ی تداخل سنج مایکلسون و اندازه‌گیری اختلاف دو طول‌موج نزدیک به هم از طریق کمینه‌سازی نمایانی**	**۲۹-۳۳**
۷	**اندازه‌گیری طول‌موج نور بوسیله‌ی تداخل سنج فابری - پرو و اندازه‌گیری اختلاف دو طول‌موج نزدیک به هم از روش بیشترین عدم تطابق**	**۳۴-۳۷**
۸	**پراش بوسیله‌ی تک شکاف باریک و روزنه‌ی گرد و مانع باریک**	**۳۸-۴۱**
۹	**توری پراش و اندازه‌گیری طول‌موج به کمک آن**	**۴۲-۴۵**
۱۰	**اندازه‌گیری توان جداسازی منشور و توری پراش**	**۴۶-۴۹**
۱۱	**اندازه‌گیری غلظت محلول‌های فعال نوری بوسیله‌ی قطبش سنج و بررسی پاشندگی چرخشی**	**۵۰-۵۶**
۱۲	**اندازه‌گیری نمارشکست به روش بروستر، واکافت قطبیدگی نور و برپایی یک میکروسکوپ قُطبان**	**۵۷-۶۲**

آزمایش شماره‌ی (۱)

اندازه‌گیری نمارشکست تیغه‌ی متوازی‌السطوح شیشه‌ای، آب و نمارشکست‌های عادی و غیر عادی بلور کلسیت

Measurement of refractive index of plane-parallel plate, water and ordinary and extraordinary refractive indexes of Calcite crystal

ویلبرورد اسنل
۱۶۲۶-۱۵۹۱

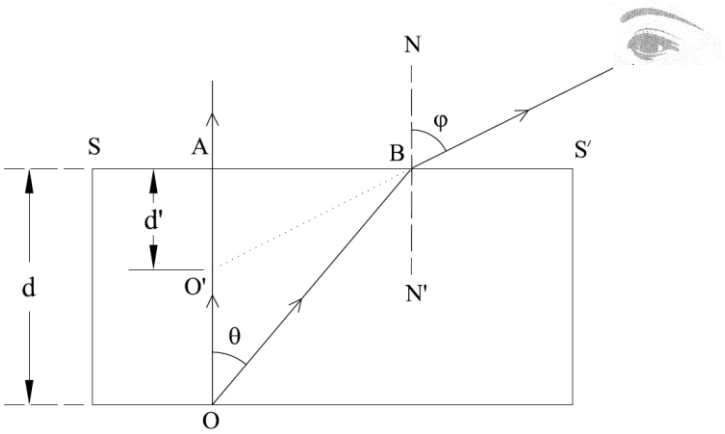
ویلبرورد اسنل، ستاره‌شناس و ریاضیدان هلندی؛ در لیدن به دنیا آمد و در سن بیست و یک سالگی به جانشینی پدرش، استاد ریاضی در دانشگاه لیدن شد.
در سال ۱۶۱۷، از طریق اندازه‌گیری انحنای زمین مابین ال کمر و برگن اُپ-زوم، ابعاد آن را تعیین کرد. طی مقاله‌ای منتشر نشده در ۱۶۲۱ آنچه را که امروزه به قانون شکست می شناسیم، توضیح داده است. نمودارهای هندسی وی ایجاب می کنند که نسبت $cosec\,\theta$ و $cosec\,\varphi$ مقدار ثابتی باشد. دکارت نخستین کسی بود که نسبت سینوس‌ها را مطرح کرد، و درفرانسه این قانون را به نام قانون دکارت می شناسند.

وسایل آزمایش

میکروسکوپ اندازه‌گیری- تیغه‌ی متوازی‌السطوح شیشه‌ای- تیغه‌ی کلسیت- بشر یا لیوان- قطبنده.

زمینه‌ی نظری آزمایش

از نتایج شکست نور در عبور از مرز دو محیط این است که ضخامت ظاهری(Apparent thickness)، این محیط ها با ضخامت واقعی آنها تفاوت دارد.



شکل1- قطر ظاهری تیغه‌ی متوازی‌السطوح

یک تیغه‌ی متوازی‌السطوح شیشه ای(Plane-parallel plate)، به ضخامتd و نمار شکست(Refractive index) n، را که در هوا قرار دارد، در نظر بگیرید (شکل ۱). پرتو OA از نقطه‌ی O، عمود بر سطح مرزی SS' فرود می آید و بدون انحراف خارج می شود. پرتو دیگری مانند OB، با زاویه‌ی تابش θ روی سطح SS' فرود می آید و با زاویه‌ی شکست φ از این سطح مرزی خارج می شود. اگر چشم ناظر در این جهت قرارگیرد به نظر می رسد که این پرتو، از نقطه O' گذشته است. در حقیقت O' تصویر نقطه‌ی O و $d'=O'A$ ضخامت ظاهری تیغه است.

اگر زوایای φ و θ کوچک باشند، یعنی؛ بطور عمودی به تیغه نگاه کنیم، فواصل $O'B$ و OB تقریباً به ترتیب با $O'A$ و OA برابر خواهند بود. بنابراین در مثلث‌های ABO' و ABO می توان نوشت:

$$Sin\ \varphi = \frac{AB}{O'B} = \frac{AB}{O'A}$$

$$Sin\ \theta = \frac{AB}{OB} = \frac{AB}{OA}$$

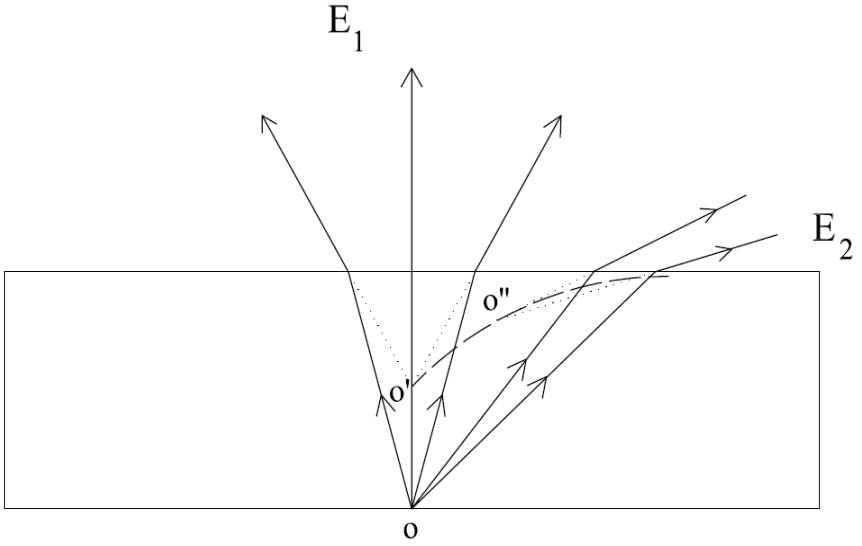
و با توجه به قانون شکست؛

$$Sin\varphi = n\ \ Sin\theta \qquad (۱)$$

نتیجه می‌شود:

$$n = \frac{Sin\varphi}{Sin\theta} = \frac{OA}{O'A} = \frac{d}{d'} \qquad (۲)$$

یکی از شرایط استفاده از رابطه‌ی فوق این است که سطح تیغه، بطور عمودی دیده شود و همچنین زاویه‌ی راس مخروط نوری که از نقطه‌ی O' به ناظر می‌رسد، کوچک باشد. اگر یک یا هر دو شرطی که ذکر شد، برقرار نباشد، محل و شکل تصویر تغییر خواهد کرد. در این حالت مطابق شکل ۲، تصاویر O' و O'' و غیره، روی منحنی خط چینی که در شکل رسم شده است، از نقطه‌ی O' تغییر مکان می‌دهند. بدین ترتیب، اگر چشم در نقطه E_1 قرارگیرد و زاویه‌ی راس مخروطی نیز کوچک باشد، تصویر O' است. درحالیکه اگر چشم در وضعیت E_2 قرارگیرد، تصویر نقطه‌ی O، نقطه‌ی O'' خواهد بود. اگر زاویه‌ی راس مخروط نوری بتدریج افزایش یابد، نقطه‌ی O بتدریج پهن می‌شود؛ زیرا که در این حالت تصویر حاصله از یک سری تصویرهای گوناگون در نقاط مختلف تشکیل می شود.



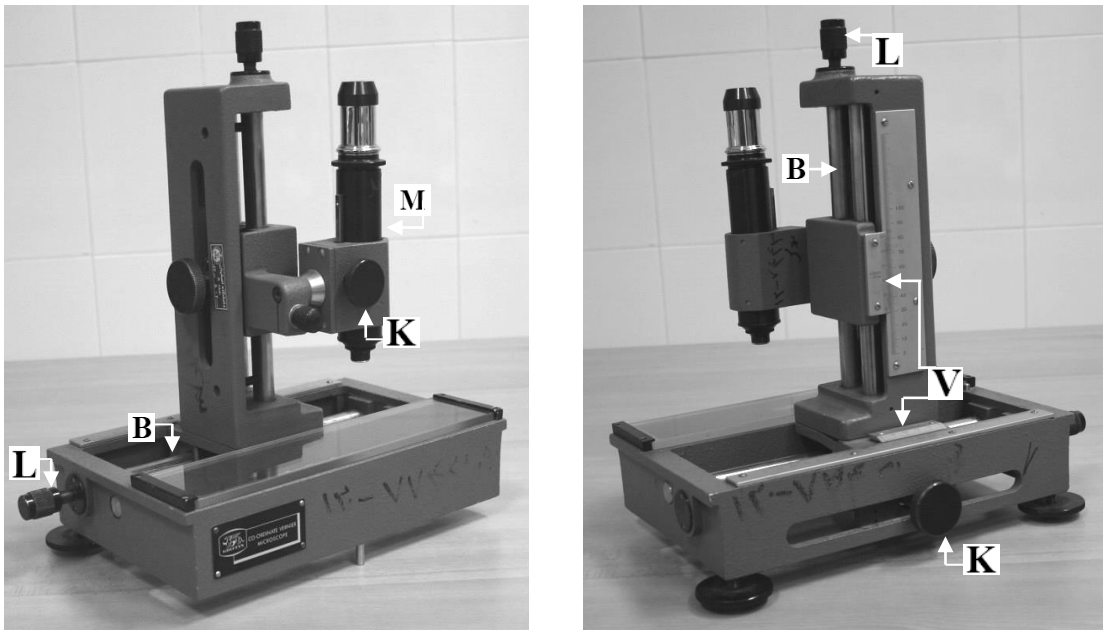
شکل۲- اثر زاویه‌ی دید در جابجایی ظاهری تصویر

شرح دستگاه میکروسکوپ اندازه‌گیری

این دستگاه از یک میکروسکوپ M، تشکیل شده است که روی قطعه فلزی B، حرکت می‌کند (شکل 3). به موازات یک خط کش نقره‌ای به طول ۱۵ سانتی‌متر، یک ورنیه V، همراه با میکروسکوپ جابجا می‌شود و موقعیت دقیق آن را مشخص می‌کند. به کمک این ورنیه، می‌توان موقعیت میکروسکوپ را تا ۰/۰۱ میلی‌متر خواند. اگر پیچ L باز باشد، میکروسکوپ را

می‌توان با دست روی قطعه‌ی B حرکت داد و در صورتیکه این پیچ بسته باشد، میکروسکوپ به صورت آهسته و ظریف به کمک پیچ K، روی قطعه حرکت می‌کند.

میکروسکوپ برای اندازه‌گیری فواصل افقی و عمودی، هر دو، به کار می رود. از میکروسکوپ می‌توان در هر دو وضعیت استفاده کرد؛ وضعیت اول حالتی است که محور میکروسکوپ بر جهت حرکت آن عمود است، و وضعیت دوم که در این آزمایش از آن استفاده می‌شود، مطابق شکل ۳، محور میکروسکوپ با جهت حرکت آن موازی است.



شکل۳- میکروسکوپ اندازه‌گیری

روش آزمایش

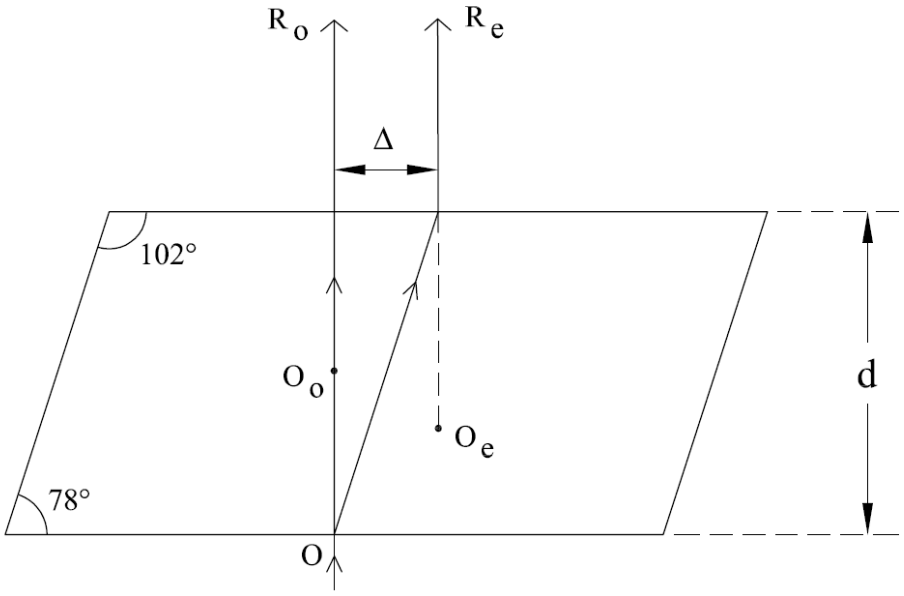
دستگاه را مطابق شکل ۳، روی میز قرار دهید و به کمک پیچ K ، میکروسکوپ را طوری تنظیم کنید که تصویر سطح شیشه‌ای میکروسکوپ در آن دیده شود؛ موقعیت میکروسکوپ را بخوانید و آن را با V_1 نمایش دهید. سپس تیغه‌ی شیشه‌ای متوازی السطوح را زیر میکروسکوپ قرار داده و مجدداً به کمک پیچ K، با بالا بردن میکروسکوپ تصویر سطح میز را در آن پیدا کنید؛ موقعیت جدید میکروسکوپ را با V_2 نمایش دهید. یک قطره جوهر به ضخامت کم، روی تیغه‌ی شیشه‌ای بریزید و بعد با بالا بردن مجدد میکروسکوپ به کمک پیچ K تصویر قطره‌ی جوهر را پیدا کنید؛ این موقعیت میکروسکوپ را با V_3 نمایش دهید. اندازه‌ی $d = V_1 - V_3$ ضخامت حقیقی و $d' = V_2 - V_3$ ضخامت ظاهری تیغه‌ی شیشه‌ای است. بدین ترتیب با توجه به رابطه‌ی (۲) ، نمارشکست تیغه‌ی متوازی‌السطوح از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$n = \frac{d}{d'} = \frac{V_1 - V_3}{V_2 - V_3} \qquad (۳)$$

این آزمایش را با یک لیوان یا یک بشرِ آب تکرار کنید و نمارشکست آب را بدست آورید. برای این منظور پیش از ریختن آب در لیوان یا بشر، در ته آن لکه‌ای بگذارید. ارتفاع آب نیز باید حداکثر ۳ سانتیمتر باشد.

حال روی تکه‌ی کاغذی علامتی گذاشته و آن را روی میز قرار دهید. سپس بوسیله‌ی میکروسکوپ تصویر آن را بطور واضح پیدا کرده و در این حالت درجه‌ی ورنیه را یادداشت کنید (V_1) . سپس بلور کلسیت که کربنات کلسیم است و بلور «اسپات ایسلند» نیز نامیده می شود را روی لکه بگذارید و تصاویر عادی و غیرعادی لکه را بدست آورید. در این حالت

درجه‌ی ورنیه را، که به ترتیب (V_2^o) و (V_2^e) است، یادداشت کنید (برای تشخیص تصویر عادی از غیرعادی، کافیست که بلور را حول محوری عمود بر صفحه‌ی میز بچرخانید، در این صورت تصویر عادی ثابت باقی مانده و تصویر غیرعادی حول آن دوران می کند).



شکل۴- شکست دوگانه در بلور کلسیت

بالاخره، تصویر سطح بالایی بلور را پیدا کنید و V_3 را بدست آورید و بدین ترتیب نمارشکست‌های عادی و غیرعادی بلور را از روابط زیر محاسبه کنید:

$$n_o = \frac{V_1 - V_3}{V_2^o - V_3} \qquad (۴)$$

$$n_e = \frac{V_1 - V_3}{V_2^e - V_3} \qquad (۵)$$

برای انجام این آزمایش بهتر است یک قطبنده(Polaroid)، جلوی چشمی میکروسکوپ قرار دهید تا با چرخاندن آن نمایانی(Visibility) تصاویر عادی و غیرعادی را افزایش دهید، و به این ترتیب کانونی‌سازی این تصاویر بهتر انجام شود. در حقیقت، در حالیکه پرتو عادی از قانون شکست (رابطه‌ی ۱) پیروی می کند، پرتو غیرعادی از آن پیروی نمی‌کند، و برای یافتن نمارشکست غیرعادی n_e، نمی‌توان از رابطه‌ی (۵) استفاده کرد. از سوی دیگر اگر جدایی دو تصویر عادی و غیرعادی را با Δ نشان دهیم (شکل ۴) می‌توان ثابت کرد که رابطه‌ی زیر برقرار است:

$$\Delta = d\,\frac{n_o^2 - n_e^2}{n_o^2 + n_e^2} \qquad (۶)$$

بنابراین با اندازه‌گیری نمارشکست عادی n_o، به کمک رابطه‌ی (۴) ، و نیز اندازه‌گیری جدایی دو تصویر Δ، نمارشکست غیرعادی n_e، را بوسیله‌ی رابطه‌ی (۶) محاسبه کنید و آن را با مقداری که پیشتر بوسیله‌ی رابطه‌ی (۵) بدست آورده اید، مقایسه کنید. برای اندازه‌گیری Δ، تیغه را بچرخانید تا خط واصل دو تصویر در امتداد جابجایی میکروسکوپ قرار گیرد.

خطای آزمایش

برای نخستین خطای اندازه‌گیری در موقعیت میکروسکوپ، در یکی از آزمایش‌ها، پس از کانونی ساختن تصویر، میکروسکوپ را آنقدر به جسم نزدیک کنید تا تصویر از تنظیم خارج شود؛ سپس آن را آنقدر از جسم دور کنید تا دوباره از تنظیم خارج شود. نصف فاصله‌ی این دو وضعیت، خطای هر اندازه‌گیری موقعیت میکروسکوپ را معین می‌کند. خطای نسبی(Relative error)، و خطای مطلق(Absolute error)، را روی اندازه‌گیری نمارشکست‌های تیغه‌ی شیشه‌ای، آب و بلور کلسیت محاسبه کنید.

اسپات ایسلند

کلسیت یا کلسیم کربنات ($CaCO_3$)، ماده‌ای است که از آن در طبیعت فراوان یافت می‌شود. سنگ مرمر و سنگ آهن هر دو از تعداد زیادی بلورهای کلسیت به هم چسبیده تشکیل یافته اند.
در سال۱۶۶۹ اراسموس بارتولینوس، پزشک و استاد ریاضیات دانشگاه کپنهاک(واتفاقاً پدر زن رُومر) به پدیده‌ی نوری جدید و قابل توجهی در کلسیت برخورد کرد که او آن را شکست دوگانه نام نهاد. کلسیت در گذشته‌ای نه خیلی دور در ایسلند کشف شده بود، و در آن زمان اسپات ایسلند نامیده می شد.

پرسش

۱. آیا محدودیتی در ضخامت تیغه‌هایی که می خواهیم نمارشکست‌های آنها را تعیین کنیم، وجود دارد؟ توضیح دهید.
۲. نشان دهید که پرتو غیرعادی، در شکل ۴، از قانون شکست پیروی نکرده است.

آزمایش شماره‌ی (۲)

اندازه‌گیری فاصله‌ی کانونی عدسی‌های ضخیم و دستگاه عدسی‌ها

Measuring focal length of thick lenses and lens systems

پیر دوما فرما
1665-1601

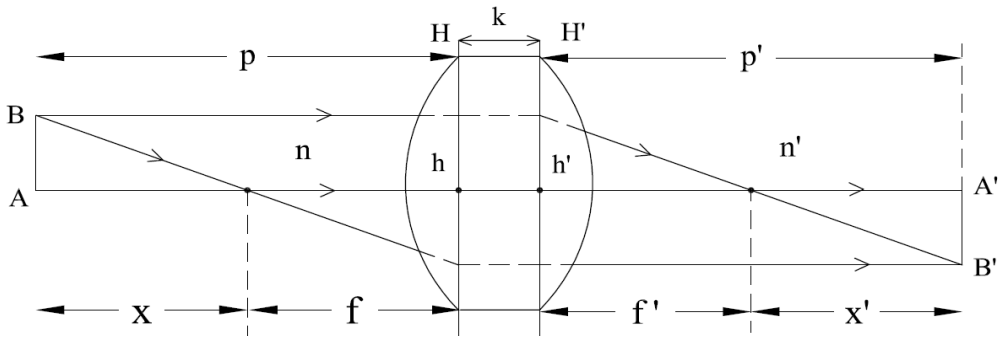
پیر دوما فرما، ریاضیدان فرانسوی، در بیمون دلمانژ به دنیا آمد. در دوران جوانی، با همکاری پاسکال، کشفیاتی در مورد خواص اعداد انجام داد که وی بعدها، بر مبنای آنها روش محاسبه احتمالات خود را پایه‌گذاری کرد. وی همچنین بازتابش نور را بررسی و اصل کمترین زمان را بیان کرد. استدلال وی برای این اصل، رفتار اقتصادی وصرفه جویانه‌ی طبیعت است. اما او از این امر آگاه نبود که درست خلاف آن صادق است. فرما، به خاطر معلومات قانونی و برخورداری از صلابت و رهبری، مشاور مجلس تولوز بود. او همچنین فقیهی بزرگ و زبان شناس برجسته‌ای به شمار می رفت.

وسایل آزمایش

پایه‌ی اپتیکی مدرج، پرده‌ی سفید(دو عدد)، پرده‌ی سفید شکافدار، چشمه‌ی نور سفید، پالایه‌ی سبز، آینه‌ی تخت، پایه‌ی مخصوص یافتن نقاط گره‌ای، عدسی ضخیم همگرا و قطعه‌ی چشمی(دیدگر **Eyepiece**).

زمینه‌ی نظری آزمایش

در محاسبات نظری، یک عدسی ضخیم یا یک دستگاه نوری از عدسی‌های نازک را می توان بوسیله‌ی مجموعه‌ای از صفحات اصلی اول و دوم، H و H'، و نقاط کانونی F و F'، جایگزین کرد (شکل ۱). فواصل جسم و تصویر P و P'، به ترتیب از نقاط اصلی اول و دوم، h و h'، اندازه‌گیری می‌شوند و این نقاط نیز گاهی در داخل عدسی و گاهی خارج از آن قرار دارند. از این رو اندازه‌گیری فواصل یاد شده، با روش‌های ساده‌ای که بوسیله‌ی آنها فاصله‌ی کانونی عدسی‌های نازک تعیین می‌شوند، امکان‌پذیر نیست. در این آزمایش برای یافتن صفحات اصلی و نقاط کانونی دو روش مستقل، ارایه و نتایج آنها با یکدیگر مقایسه می‌شوند. لازم به تذکر است که در شکل ۱، اگر محیط دو طرف عدسی یکسان باشند، $|f|=|f'|$ خواهد بود.



شکل۱- صفحات اصلی و نقاط کانونی در یک عدسی ضخیم

۱. اندازه‌گیری فاصله‌ی کانونی بوسیله‌ی فواصل نیوتونی

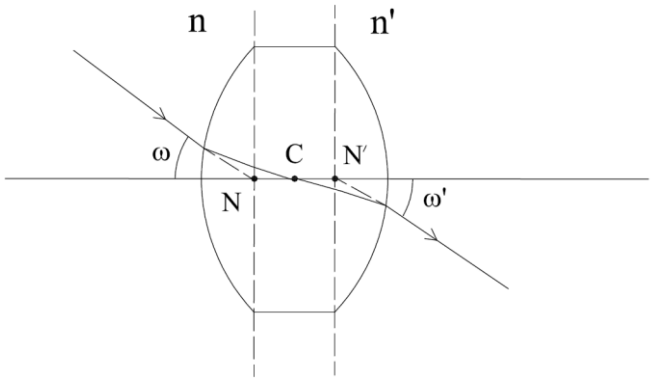
با انجام یک آزمایش در سه مرحله (شکل ۳)، و اندازه‌گیری فواصل X و X' می‌توان به کمک رابطه‌ی نیوتن:

$$XX' = f^2 \qquad (۱)$$

فاصله‌ی کانونی عدسی ضخیم و یا دستگاه عدسی‌ها را بدست آورد.

۲. اندازه‌گیری فاصله‌ی کانونی بوسیله‌ی نقاط گره‌ای

نقاط گره‌ای(Nodal points) N و N' ، دو نقطه‌ی مزدوج روی محور اصلی هستند، به گونه‌ای که هر پرتو فرودی که از N بگذرد، پرتو خروجی متناظر آن از N' می‌گذرد که با پرتو فرودی موازی است(شکل۲). بنابراین اگر یک دسته پرتو موازی به عدسی تابانیده شود و ما عدسی را حول یک گره دوران دهیم، جهت پرتو خروجی تغییر نخواهد کرد.



شکل۲- نقاط گره‌ایN و'N و مرکز اپتیکیC عدسی

هرگاه محیط دو طرف عدسی یکسان باشد($n=n'$)، نقاط گره‌ای بر نقاط اصلی منطبق هستند و بنابراین اگر یک دسته پرتو موازی روی عدسی فرودآید و عدسی حول نقطه‌ی گره‌ای N' ، دوران کند، بگونه‌ای که تصویر نقطه‌ای آن جابجا نشود، فاصله‌ی محور دوران از تصویر نقطه‌ای، برابر فاصله‌ی کانونی عدسی است.

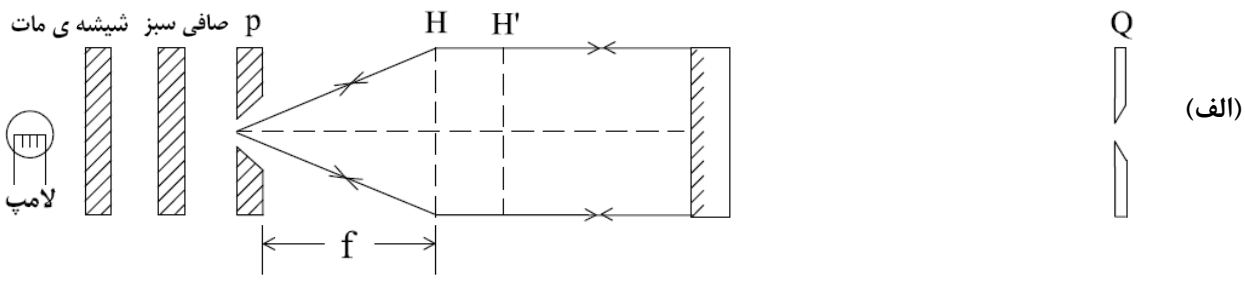
روش آزمایش

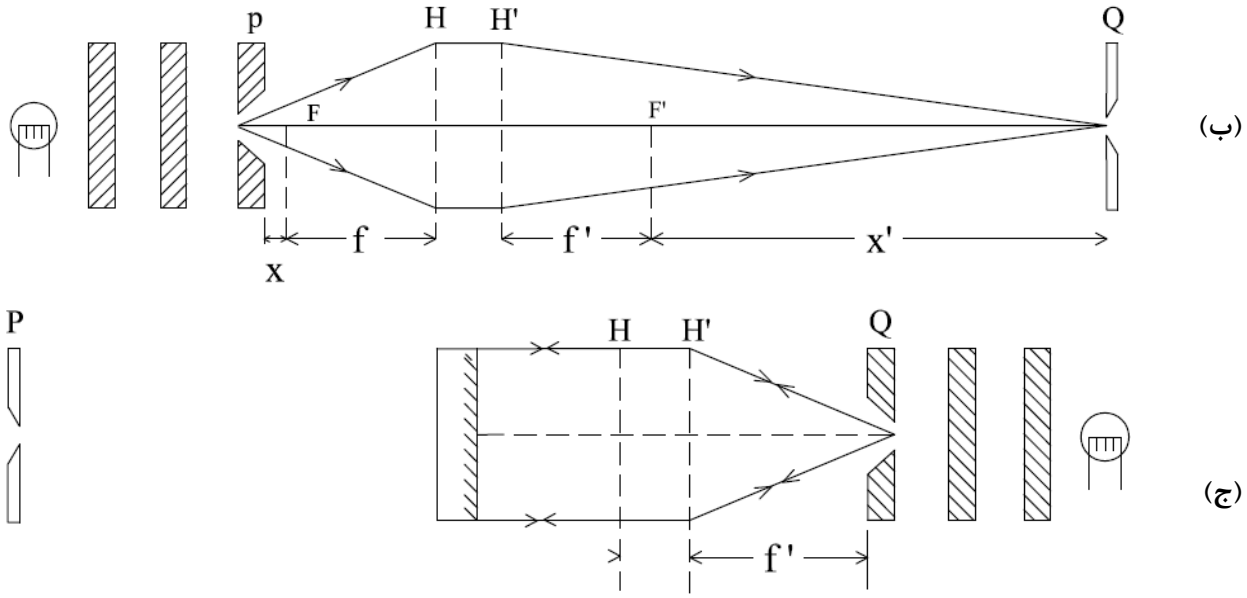
۱. فواصل نیوتنی

ابتدا آینه‌ی تخت را پشت عدسی ضخیم همگرا، و شکاف باریک را مقابل آن قرار دهید(شکل ۳ الف). شکاف را بوسیله‌ی یک چشمه‌ی نور سفید روشن کنید و پالایه‌ی سبز را (برای برطرف کردن ابیراهی رنگی) بین شکاف و چشمه قرار دهید. عدسی را جابجا کنید تا تصویر شکاف، کنار شکاف کانونی شود (روش خودموازی‌ساز، Autocollimation). به این ترتیب نقطه‌ی کانونی اول در صفحه‌ی شکاف قرار دارد؛ لیکن فاصله‌ی کانونی تعیین نشده است، زیرا محل صفحه اصلی اول، H، هنوز معلوم نیست.

در مرحله‌ی دوم، شکل۳ (ب)، عدسی به محل جدیدی جابجا می شود، تا تصویر شکافP ،در صفحه‌ی شکاف دیگر،Q،کانونی شود. اندازه‌ی این جابجایی را با X نشان دهید.

در مرحله‌ی سوم، شکل۳ (ج)، بدون اینکه شکافQ را جابجا کنید بوسیله‌ی یک چشمه‌ی نور سفید آن را روشن کنید و آینه‌ای تخت را پشت عدسی قرار دهید. عدسی را به شکاف نزدیک کنید تا تصویر شکاف در کنار آن کانونی شود. اندازه‌ی جابجایی عدسی از مرحله‌ی دوم به مرحله‌ی سوم را با X' نشان دهید. به کمک رابطه‌ی (۱)، فاصله‌ی کانونی عدسی ضخیم را پیدا کنید.



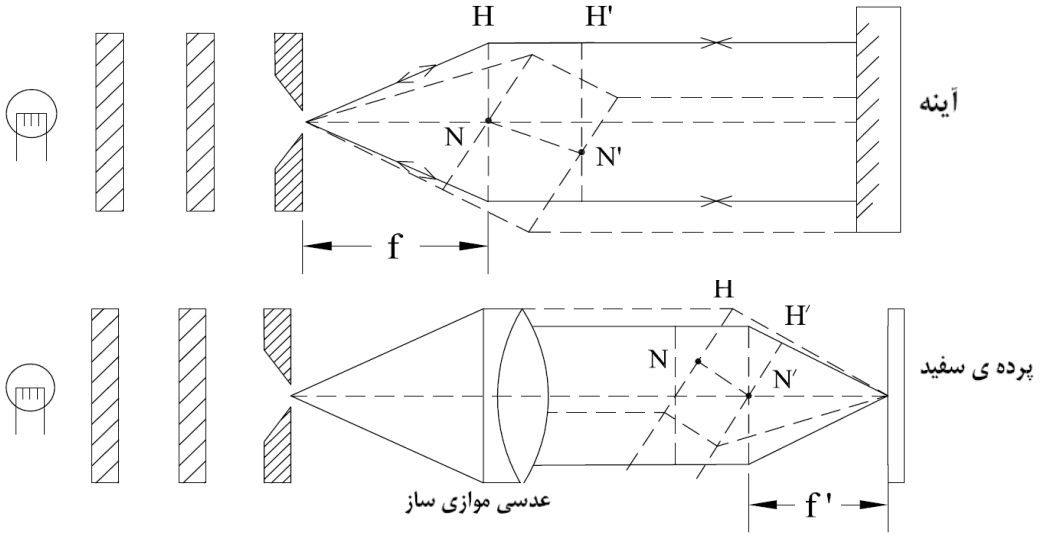


شکل۳- روش سه مرحله‌ای برای یافتن فواصل نیوتنیX و 'X

اگر عدسی دوباره مطابق مرحله‌ی اول و سوم تنظیم شود، با داشتن فاصله‌ی کانونی می‌توان محل صفحات اصلی اول و دوم را پیدا کرد. این آزمایش را با قطعه‌ی چشمی تکرار کنید و فاصله‌ی کانونی و محل صفحات اصلی آن را پیدا کنید. بهتر است از قطعه‌ی چشمی رامسدن(Ramsden) استفاده شود؛ این قطعه‌ی چشمی از دو عدسی نازک و همجنس تخت–کوژ(Plano-concave)، تشکیل می‌شود که فاصله‌ی کانونی هر دو آنها یکی است. با بدست آوردن فاصله‌ی کانونی و جدایی عدسی‌های چشمی و میدانی قطعه چشمی‌ای که در اختیار دارید، مسیر نور را در دو عدسی روی کاغذ میلیمتری با دقت رسم کنید و محل صفحات اصلی و فاصله‌ی کانونی را بدست آورید و با نتایج آزمایش مقایسه کنید.

۲. نقاط گره‌ای

برای یافتن نقاط گره‌ای می‌توان از یکی از دو روش زیر استفاده کرد. روش اول مبتنی بر خودموازی‌سازی، شکل۴ (الف) و روش دوم مبتنی بر نور موازی است، شکل۴ (ب).



شکل ۴- آرایش‌هایی برای یافتن نقاط گره‌ای

در هر دو روش، اگر عدسی حول یکی از نقاط گره‌ای چرخانده شود، تصویر(کانون) جابجا نمی‌شود. بنابراین برای یافتن نقاط گره‌ای، عدسی را روی پایه‌ی مخصوص پیدا کردن نقاط گره‌ای قرار دهید و دستگاه را مطابق شکل۴ (الف) ، سوار کنید. سپس فاصله‌ی شکاف از عدسی را بگونه‌ای تنظیم کنید که تصویر روی آن کانونی شود. پایه‌ی عدسی را بچرخانید، تصویر روی پرده‌ی سفید جابجا می‌شود. اکنون عدسی را روی پایه‌ی خود جابجا کنید و حالتی را بدست آورید که در آن با چرخاندن پایه‌ی عدسی، تصویر روی پرده بی‌حرکت باقی بماند. با تغییردادن مکان شکاف، تصویر را کاملاً کانونی کنید. دراین وضعیت، نقطه‌ی گره‌ای N'، و در نتیجه صفحه‌ی اصلی دوم عدسی بر محور دوران منطبق است و به این ترتیب محل این صفحه روی عدسی، معلوم می‌شود. عدسی را از روی پایه‌ی خود بردارید و فاصله‌ی شکاف از محور دوران، f ، را اندازه بگیرید. عدسی را دوباره روی پایه‌ی خود به گونه‌ای قرار دهید که نسبت به وضعیت پیش، پشت و رو باشد و با همین روش صفحه‌ی اصلی و فاصله‌ی کانونی دیگر را پیدا کنید. نتایج را با روش پیش مقایسه کنید.

همین آزمایش را با قطعه‌ی چشمی (دیدگر) تکرار کنید و فاصله‌ی کانونی و صفحات اصلی آن را پیدا کنید و نتایج را با اندازه‌گیری‌های پیش مقایسه کنید.

محاسبه‌ی خطا

منابع خطا را در هر یک از دو روش ذکر کنید و خطای نسبی و مطلق را روی اندازه‌گیری فاصله‌ی کانونی، در هر یک از دو روش پیدا کنید.

دوربین تصویرکلی(پانوراما)

هرگاه یک عدسی دوربین فیلمبرداری حول نقطه‌ی گره‌ای ثانویه‌اش بگردد و یک قطعه‌ی دراز فیلم به‌صورت دایره‌ای به شعاع فاصله‌ی کانونی‌اش خمیده شود، می‌توان یک عکس پیوسته که زاویه‌ی دید بزرگی را پوشش می‌دهد، برداشت. چنین دستگاهی به دوربین تصویرکلی(پانوراما) معروف است. بستاور این دستگاه، معمولاً یک شکاف قائم است که درست جلوی فیلم قرار دارد و چنان می‌چرخد که همیشه در مرکز محور عدسی واقع باشد.

پرسش

۱. در مرحله‌ی دوم روش نیوتنی، تعیین فاصله‌ی کانونی برای عدسی و یا قطعه‌ی چشمی، دو موقعیت ممکن وجود دارد، رابطه‌ی آن دو با هم چیست؟

۲. فاصله‌ی دو شکاف در مرحله‌ی دوم روش نیوتنی، حداقل چه اندازه می‌تواند باشد؟

۳. آیا محدودیتی برای هر یک از دو روش وجود دارد؟ آنها را ذکر کنید.

آزمایش شماره‌ی(۳)

اندازه‌گیری نمارشکست منشور و محاسبه‌ی ضرایب کوشی

Measuring the refractive index of glass prism and calculating Cauchy's coefficients

اگوستین لوئیس کوشی
۱۸۵۷-۱۷۸۹

اگوستین لوئیس کوشی، ریاضیدان فرانسوی؛ ۷۸۹ مقاله در زمینه‌های ریاضی و اپتیک نوشته است. کوشی زمینه‌ی ریاضیِ اپتیک را معرفی کرد. او فرض‌کردِ اتر خواص مکانیکی یک محیط الاستیکی را داراست و مقاله‌ای در مورد انتشار موج در مایعات و محیط الاستیک منتشرکرد. وی همچنین بازتاب از فلزات و ارتباط آن با پراکندگی را مطالعه کرد. او مردی با ایمان قوی و یک کاتولیک مذهبی بود.

وسایل آزمایش

دستگاه زاویه‌سنج، منشور شیشه‌ای ۶۰ درجه، لامپ تخلیه‌ی جیوه.

زمینه‌ی نظری آزمایش

در یک منشور، نمارشکست n، به طول‌موج بستگی دارد و اگر نوری غیرتکفام روی منشور فرودآید، طول‌موج‌های تشکیل دهنده‌ی آن از هم جدا شده و طول‌موج‌های کوچکتر بیشتر منحرف می شوند. چنانچه منشور در مینیمم انحراف باشد، نمارشکست منشور از رابطه‌ی زیر بدست می آید:

$$n = \frac{Sin\frac{A + D_m}{2}}{Sin\frac{A}{2}} \qquad (۱)$$

که در آن A زاویه‌ی راس منشور و D_m زاویه‌ی مینیمم انحراف است.

تغییرات نمارشکست انواع شیشه‌های شفاف برحسب طول‌موج (منحنی پاشندگی) در ناحیه‌ی مرئی بینابی را می‌توان به‌صورت زیر، که به رابطه‌ی کوشی معروف است، نوشت:

$$n = a + \frac{b}{\lambda^2} + \frac{c}{\lambda^4} + \qquad (۲)$$

که در آن a,b وc ضرایب ثابت و λ طول‌موج نور است. می‌توان با استفاده از روابط (۱) و (۲) و طول‌موج‌های معین λ_1, λ_2, ... این ضرایب ثابت را که مشخص‌کننده‌ی جنس شیشه هستند، بدست آورد. در عمل چون ضرایب b به بَعد، بسیار کوچک هستند؛ از آنها چشمپوشی کرده و رابطه‌ی کوشی را به شکل زیر مورد استفاده قرار می دهند:

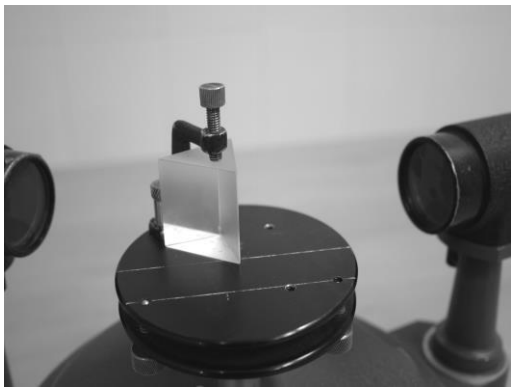
$$n = a + \frac{b}{\lambda^2} \qquad (۳)$$

شرح دستگاه زاویه‌سنج و تنظیم آن

زاویه‌سنج(Goniometer)، دستگاه حساسی است که باید با دقت با آن کار کرد. این دستگاه از یک موازی‌ساز(Collimator)، یک دوربین و یک میزچه که منشور را روی آن قرار می دهند، تشکیل‌می‌شود (روی دوربین و موازی‌ساز فشار نیاورید). موازی‌ساز از هر نقطه‌ی شکاف باریک، یک دسته‌پرتو موازی درست می‌کند.

در صفحه‌ی کانونی(Focal plane) عدسی شیئی دوربین یک تاربست (دو خط متعامد) قرار دارد. میزچه را نیز می‌توان بوسیله‌ی سه پیچ به صورتی کاملاً افقی، تنظیم کرد. دوربین و میزچه می‌توانند حول محور زاویه‌سنج دوران‌کنند، به طوریکه محورهای نوری دوربین و موازی‌ساز بر محور دوران عمود هستند. وضعیت دوربین را می‌توان بوسیله‌ی یک صفحه‌ی مدرج سنجید. روی این صفحه‌ی مدرج دو ورنیه در مقابل یکدیگر قراردارند (شکل۴) که استفاده از هر دو آنها برای تصحیح خطاهای خروج‌ازمرکز(اختلاف محور دوران دوربین و محور صفحه مدرج) اجباری است. میانگین زوایایی که روی دو ورنیه خوانده‌می‌شوند، موقعیت دقیق دوربین را مشخص‌می‌کند. دوربین و موازی‌ساز باید برای بی‌نهایت دور کانونی‌شوند. برای این منظور، نخست عدسی چشمی مجهز به لامپ ۶ ولتی را به جای عدسی‌چشمی(Ocular lens) دوربین قرار دهید و آن را طوری تنظیم‌کنید که خطوط تاربست کانونی‌شوند. سپس منشور را به گونه‌ای روی میزچه قراردهید که یکی از رخ‌های آن در مقابل دوربین قرارگیرد و پس از پیداکردن تصویر تاربست، دوربین را برای آن کانونی‌سازید (روش خودموازی‌ساز Autocollimation) . حال عدسی‌چشمی مجهز به لامپ ۶ ولتی را برداشته و عدسی‌چشمی دوربین را سرجای خود طوری قرار دهید که تصویر تاربست همچنان کانونی باقی‌بماند. در این صورت دوربین برای بینهایت دور کانونی شده است. لامپ تخلیه‌ی‌گازی(Discharge gas tube) را مقابل شکاف موازی‌ساز قرار داده و آن را روشن کنید. تصویر شکاف موازی‌ساز را تا آنجا که ممکن است باریک کنید و فاصله‌ی این شکاف را از عدسی موازی‌ساز طوری تنظیم کنید که تصویر شکاف در دوربین کانونی شود. در این صورت موازی‌ساز نیز برای بی نهایت دور کانونی شده است.

برای ترازکردن منشور، ابتدا عدسی‌چشمی مجهز به لامپ ۶ ولتی را به جای عدسی‌چشمی دوربین قراردهید و آن را طوری تنظیم‌کنید که خطوط تاربست کانونی شوند. آنگاه منشور را مطابق شکل۲، بگونه‌ای روی میزچه قراردهید که یکی از رخ‌های آن (مثل β در شکل۲) بر خط واصل دو پیچ تنظیم میزچه، L_2 و L_3 عمود باشد. سپس تصویر تاربست دوربین را در رخ β پیدا کرده و با تنظیم پیچ L_2 یا L_3 آن را بر تاربست منطبق کنید. دوربین را بچرخانید و همین عمل را برای رخ دیگر منشور، γ ،تکرار کنید (پیچ تراز این بار L_1 است). آزمایش را برای رخ β تکرارکنید تا مطمئن شوید که تصویر تاربست هنوز بر تاربست دوربین منطبق است. پس به این ترتیب، رخ‌های β و γ با محور دوران دوربین موازی هستند و در کلیه‌ی آزمایش‌های بعدی از A به عنوان زاویه‌ی رأس منشور و از رخ α به عنوان قاعده‌ی آن استفاده می‌شود.



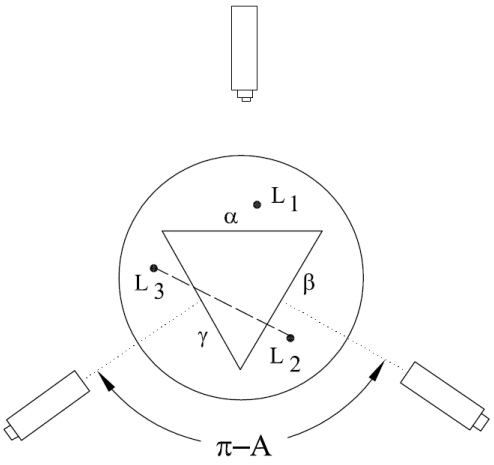
شکل۱- دستگاه زاویه‌سنج

روش آزمایش

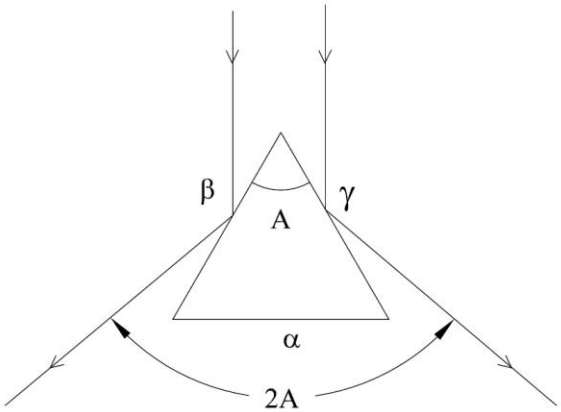
الف) اندازه‌گیری زاویه‌ی رأس منشور

روش اول: در شکل۲ زاویه‌ی دوران دوربین بین دو وضعیت، که در یکی دوربین بر رخ β و در دیگری بر رخ γ عمود است، برابر $\pi - A$ است. بنابراین با اندازه‌گیری این زاویه، زاویه‌ی رأس منشور A، را بدست آورید.

روش دوم: اگر قاعده‌ی منشور کوچک باشد و بتوان آن را روی میزچه به گونه‌ای قرارداد که زاویه‌ی رأس منشور به محور دوران میزچه نزدیک باشد، می توان برای اندازه‌گیری زاویه‌ی رأس منشور از این روش نیز استفاده کرد. برای این منظور پرتوهای موازی‌ساز را مطابق شکل۳، روی دو رخ منشور فرود آورید، سپس تصویر شکاف موازی‌ساز را پس از بازتاب روی رخ های β و γ ی منشور در دوربین مشاهده‌کنید. در هر دو حال دوربین را طوری قراردهید که تصویر شکاف موازی‌ساز بر مقطع تاربست منطبق‌شود. زاویه‌ی بین این دو وضعیت برابر با $2A$ است.



شکل ۲



شکل ۳

ب) اندازه‌گیری زاویه‌ی مینیمم انحراف و نمارشکست منشور

بیناب لامپ مورد نظر را در دوربین پیداکنید. فراموش نکنید که زاویه‌ی فرودی باید خیلی زیاد باشد و انحراف پرتوها به سوی قاعده‌ی منشور است. شکاف موازی‌ساز را تا جای ممکن باریک کنید و یکی از خطوط بیناب(Spectral lines) را درنظربگیرید. با چرخاندن میزچه، منشور را بچرخانید تا وضعیت مینیمم انحراف پیدا شود. در چنین موقعیتی تصویر خواهد ایستاد و بعد از آن اگر به چرخش میزچه ادامه‌دهید، جهت حرکت تصویر تغییرخواهدکرد. وقتی وضعیت مینیمم

انحراف را در دوربین جستجو می‌کنید، ممکن است خط مورد نظر از میدان دید دوربین خارج شود، در این‌صورت دوربین را نیز بچرخانید و این خط را دنبال‌کنید. سپس دوربین را طوری تنظیم کنید که خط بینابی مورد نظر از مقطع تاربست بگذرد و در این حالت موقعیت دوربین را روی صفحه مدرج یادداشت‌کنید.

برای کاهش خطای آزمایش، به جای اینکه منشور را از روی میزچه بردارید و دوربین را در راستای موازی‌ساز قرار دهید تا بدین وسیله زاویه‌ی D_m را مستقیماً اندازه‌بگیرید، منشور را نسبت به وضعیت فعلی، ۱۸۰ درجه بچرخانید و آزمایش بالا را تکرارکنید. بدین‌ترتیب $2D_m$ اندازه‌گیری خواهد شد.

با قراردادن اندازه‌گیری‌های فوق در رابطه‌ی (۱)، نمارشکست منشور را برای کلیه‌ی خطوط بینابی جیوه بدست آورید، و

رنگ	طول موج (A^o)	مینیمم انحراف	نمارشکست	طول موج محاسبه شده (A^o)
قرمز	۶۲۳۴/۳			
زرد اول	۵۷۹۰/۶			۵۷۹۰/۶
زرد دوم	۵۷۶۹/۶			
سبز پررنگ	۵۴۶۰/۷			
سبز کم‌رنگ	۴۹۶۰/۳			
آبی	۴۹۱۶/۰			
نیلی	۴۳۵۸/۳			
بنفش کم‌رنگ	۴۰۷۷/۸			
بنفش پررنگ	۴۰۴۶/۶			۴۰۴۶/۶

نتایج را در جدول روبرو گردآوری‌کنید:

ج) محاسبه‌ی ضرایب کوشی

به‌کمک جدول بالا، منحنی تغییرات نمارشکست برحسب طول‌موج (منحنی پاشندگی شیشه‌ی منشور) را روی کاغذ میلیمتری رسم‌کنید. برای تحقیق رابطه‌ی کوشی برای دو خط (مثلاً زرد اول و بنفش پررنگ) به طول‌موج‌های λ_1 , λ_2 با نوشتن دو معادله‌ی زیر:

$$n_1 = a + \frac{b}{\lambda_1^2}$$

$$n_2 = a + \frac{b}{\lambda_2^2}$$

ضرایب a و b را بدست آورید و سپس با داشتن آنها طول‌موج‌های بقیه‌ی خطوط را به‌کمک رابطه‌ی (۳)، محاسبه و با طول‌موج‌های داده شده مقایسه‌کنید.

د) توان پاشندگی

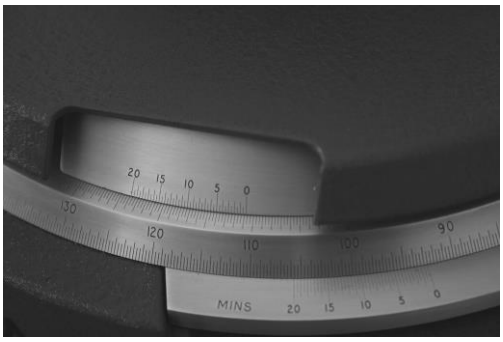
توان پاشندگی **(Dispersive powe)** منشور را، که برحسب تعریف از رابطه‌ی زیر بدست‌می‌آید، محاسبه‌کنید:

$$\Delta = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1}$$

که در آن n_F، n_C و n_D به ترتیب نمارشکست‌های منشور برای خطوط فرانهافر F، C و D با طول‌موج‌های ۴۸۶۱= λ_F، ۵۸۹۳= λ_D و ۶۵۶۳= λ_C آنگستروم است.

خطای آزمایش

دقت میزچه‌ی زاویه‌سنج یک دقیقه می‌باشد. خطای مکانیکی دستگاه حداکثر ۰/۵ دقیقه، و خطای نقطه گذاری نیز حداکثر ۰/۵ دقیقه است. خطا روی اندازه‌گیری زاویه‌ی رأس و زاویه‌ی مینیمم انحراف را بدست آورید.



شکل۴- ورنیه‌ی دستگاه زاویه‌سنج

با روش‌های معمولی می‌توان به کمک رابطه‌ی (۱)، خطای مطلق و خطای نسبی در اندازه‌گیری نمارشکست منشور را محاسبه‌کرد. نتیجه چنین است:

$$\Delta n = \frac{1}{2}\frac{Sin\frac{D_m}{2}}{Sin^2\frac{A}{2}}\Delta A + \frac{1}{2}\frac{Cos\frac{D_m + A}{2}}{Sin\frac{A}{2}}\Delta D_m \qquad (۴)$$

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{1}{2}\left[-Cotg\frac{A}{2} + Cotg\frac{D_m + A}{2}\right]\Delta A + \frac{1}{2}\left[Cotg\frac{A + D_m}{2}\Delta D_m\right] \qquad (۵)$$

با توجه به اینکه ΔA و ΔD_m در روابط فوق، باید بر حسب رادیان بیان‌شوند، به‌کمک روابط (۴) و (۵) خطای مطلق و خطای نسبی در اندازه‌گیری نمارشکست را بدست‌آورید.

منشور سه‌گوشه‌ی مکعب

علاوه بر منشورهایی که در بیناب‌نمایی به عنوان ابزار پاشنده استفاده می‌شوند؛ منشورهای بازتابان، منشورهایی هستند که در آنها دیگر پاشندگی مطلوب نیست. مورد استفاده‌ی آنها در تغییر سمتگیری یک تصویر یا در راستای انتشار یک باریکه‌ی نور است. یک منشور بازتابان که جهت هدف ویژه‌ای به کار گرفته شد، منشور سه‌گوشه‌ی مکعب بود. اگر مکعبی را چنان برش‌دهیم که قطعه‌ی جدا شده دارای سه وجه باشد که به طور دوجانبه بر هم عمودند، آن را یک منشور سه‌گوشه‌ی مکعب می‌نامیم. این منشور دارای خاصیت برگشت‌پذیری مستقیم است، یعنی تمامی پرتوهای ورودی را در امتدادهای اصلی خودشان به عقب بازمی‌تاباند. صد عدد از این منشورها، در آرایش ۱۸ اینچ مربعی جای‌داده‌شدند و هنگام پرواز آپولوی ۱۱ روی سطح کره‌ی ماه، قرارداده شده‌اند.

پرسش

۱. در شکل (۳) نشان دهید که زاویه‌ی چرخش دوربین دو برابر زاویه‌ی رأس منشور است.

۲. در اندازه‌گیری زاویه‌ی رأس منشور، دقت کدام یک از دو روش ارایه شده بهتر است؟چرا ؟

۳. در اندازه‌گیری زاویه‌ی مینیمم انحراف، به منظور کاهش خطا، به جای اندازه‌گیری زاویه‌ی مینیمم انحراف D_m، منشور را ۱۸۰ درجه چرخانده‌ایم و $2D_m$ را بدست‌آوردیم. دلیل کاهش خطا را توضیح دهید.

۴. روابط (۴) و (۵) را اثبات کنید.

آزمایش شماره‌ی (۴)

تداخل نور بوسیله‌ی دومنشوری و دوآینه‌ای فرنل و اندازه‌گیری طول‌موج

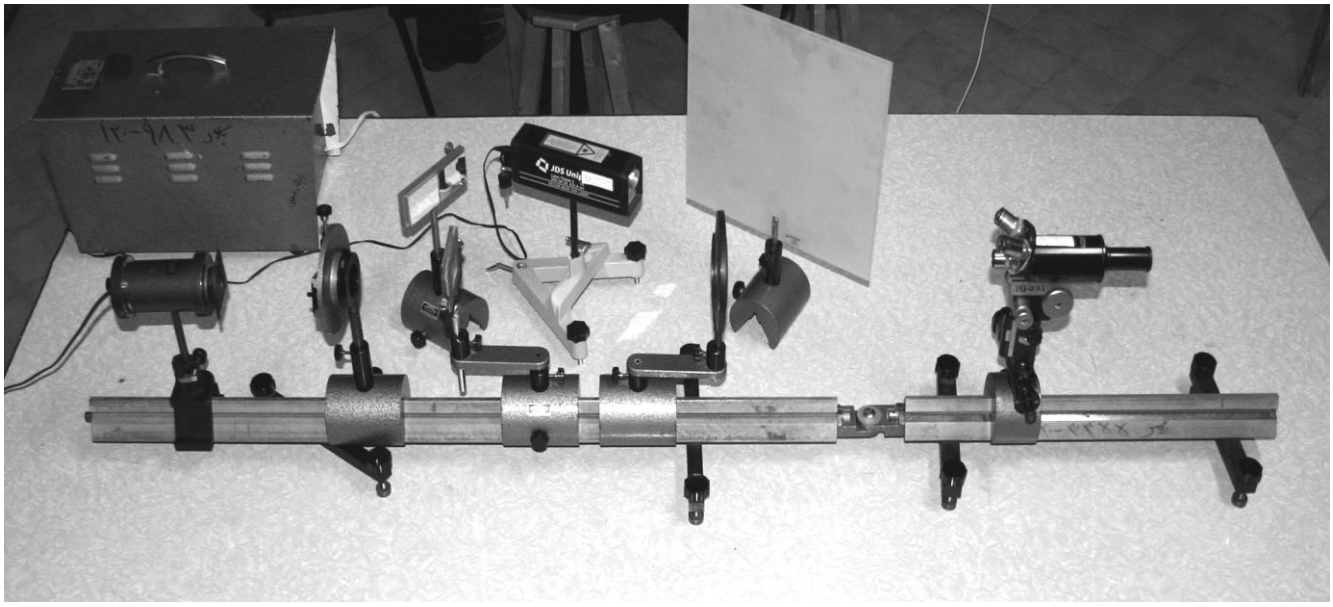
Measuring wavelength by using Fresnel's biprism and double mirrors

اگوستین فرنل
1788-1827

اگوستین فرنل، دانشمند فرانسوی که سهم قابل ملاحظه‌ای در نظریه‌ی نور دارد. به عنوان یک مهندس، به نور علاقمند شد و در بازه‌ی زمانی ۱۸۱۵-۱۸۱۴، او بر روی اصول تداخل مطالعه کرده و آن را به حالت‌های پیچیده‌تر پراش گسترش‌داد. بررسی‌های ریاضی او یافته‌های صوتی را به نظریه‌ی موجی نور عمومیت‌داد.

وسایل آزمایش

پایه‌ی اپتیکی، تعدادی سُره، چشمه‌ی نور سفید و لیزر هلیم – نئون، پالایه‌های مختلف، عدسی واگرا ($f = -10cm$)، عدسی همگرا ($f = 30cm$)، شکاف قابل‌تنظیم، دومنشوری و دوآینه‌ای فرنل، میکروسکوپ اندازه‌گیری و پرده‌ی سفید.



شکل۱- برپایی وسایل آزمایش تداخل نور بوسیله‌ی دومنشوری و دوآینه‌ای فرنل

زمینه‌ی نظری آزمایش

در پدیده‌ی تداخل(Interference) نور، چشمه‌ها باید با یکدیگر همدوس(Coherent) باشند، از این رو در تداخل دوپرتوی، معمولاً از یک چشمه، دو چشمه ایجادمی‌کنند؛ مانند تداخل بوسیله‌ی دو شکافی یانگ، تداخل بوسیله‌ی دومنشوری(Biprism) و دوآینه‌ای فرنل و تداخل بوسیله‌ی تک‌آینه‌ی لوید.

زاویه‌ی رأس هر یک از دو منشور، در دومنشوری فرنل حدود ۱ درجه و زاویه‌ی دوآینه‌ای فرنل نیز حدود ۱۷۹ درجه است. در هر دو وسیله، S_1 و S_2، تصاویر چشمه‌ی S هستند. جدایی این دو تصویر از یکدیگر را با h و فاصله‌ی آنها را از پرده‌ی سفید با x نشان‌می‌دهیم. توزیع شدت نور روی پرده‌ی سفید چنین است:

$$I = I_0 Cos^2 \frac{\varphi}{2} \qquad (۱)$$

که در آن φ اختلاف‌فاز(Phase difference)، دو موج تداخل‌کننده، در نقطه‌ای مانند p روی پرده‌ی سفید است. اختلاف‌راه نوری(Optical path difference; OPD)، در این نقطه از رابطه‌ی زیر بدست‌می‌آید:

$$OPD = \frac{hy}{x} \qquad (۲)$$

که در آن y فاصله‌ی نقطه‌ی p از مبدأ O، است. رابطه‌ی (۱) به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$I = I_0 Cos^2 (\frac{\pi}{\lambda}\frac{hy}{x}) \qquad (۳)$$

و بنابراین محل فریزهای روشن و تاریک به ترتیب از روابط زیر بدست می‌آیند:

$$y_m = k\frac{x\lambda}{h} \qquad \text{محل فریزهای روشن}$$

$$y_m = (k+\frac{1}{2})\frac{x\lambda}{h} \qquad \text{محل فریزهای تاریک}$$

که در آنها؛

$$k = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$$

و سرانجام فاصله‌ی بین دو فریز روشن یا تاریک پیاپی، i، چنین است:

$$i = \frac{x\lambda}{h} \qquad (۴)$$

روش آزمایش

الف) تداخل بوسیله‌ی دومنشوری فرنل

چراغ سفید را بوسیله‌ی مبدل روشن‌کنید و آن را با شکاف قابل‌تنظیم و دومنشوری فرنل به ترتیب بوسیله‌ی سُره‌ها، روی پایه‌ی اپتیکی قرار دهید. فضایی برای قراردادن یک پالایه بین چشمه‌ی نور و تک‌شکافی قابل‌تنظیم رها کنید. با تنظیم عرض شکاف و چرخاندن اندک آن گرته‌ی تداخل نور سفید را روی پرده‌ای سفید جلوی میکروسکوپ تشکیل‌دهید(شکل۱). گرته(Pattern) ی تداخل نور سفید را روی میکروسکوپ انداخته و از پشت میکروسکوپ آن را مطالعه کنید و مشاهدات خود را بنویسید.

سپس پالایه‌ای که در اختیارتان قرارداده‌شده‌است را در محل خود قراردهید و فریزهای نور تقریباً تکفامی را تشکیل‌دهید. این فریزها هم‌فاصله و به موازات خط‌الرأس دومنشوری است. برای اندازه‌گیری طول‌موج نور، پهنای چندین فریز روشن متوالی را اندازه‌گیری کنید و میانگین i را بدست‌آورید. سپس فاصله‌ی شکاف قابل‌تنظیم از میکروسکوپ، x، را اندازه‌بگیرید. یک عدسی همگرا(Convergent lens)، با فاصله‌ی کانونی ۳۰ سانتی‌متر، مقابل دومنشوری فرنل قراردهید و تصویر دوشکافی مجازی، S_1 و S_2 را جلوی میکروسکوپ پیداکنید. با اندازه‌گیری فاصله‌ی دو تصویر از یکدیگر h'، و فاصله‌ی شکاف قابل‌تنظیم از عدسی p، و فاصله‌ی دو تصویر از عدسی p'؛ می توان فاصله‌ی دو شکاف مجازی h، را بوسیله‌ی رابطه‌ی زیر محاسبه‌کرد:

$$h = h'\frac{p}{p'} \qquad (۵)$$

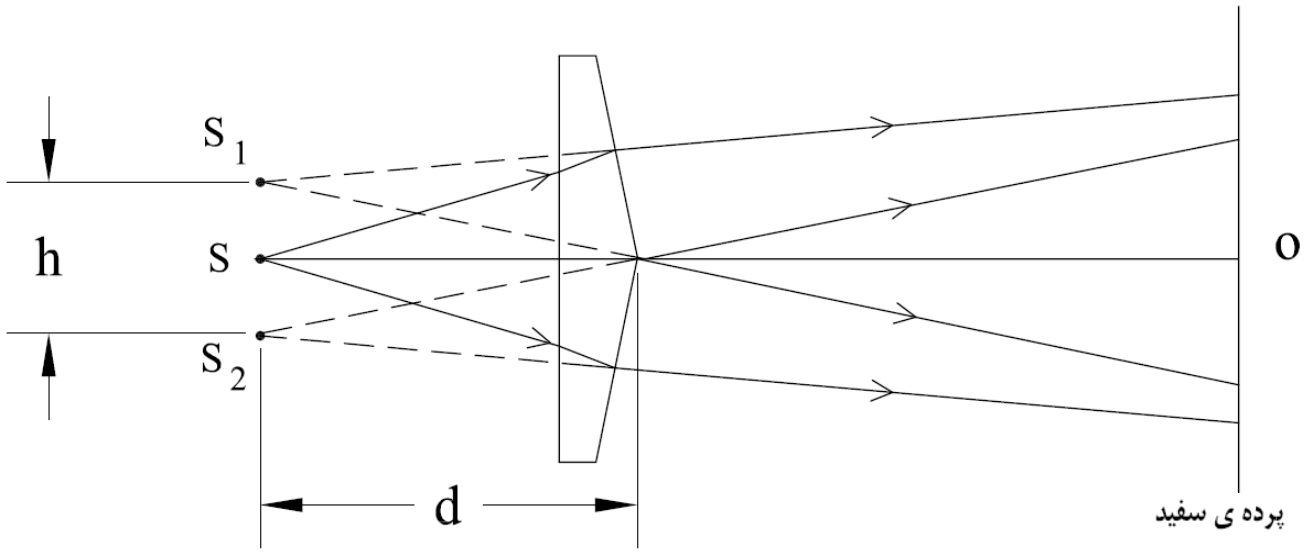
با داشتن i، x و h، طول‌موج نور λ،را بوسیله‌ی رابطه‌ی (۴) محاسبه‌کنید.

با توجه به کوچک‌بودن زاویه‌ی رأس منشورها، α، این زاویه را از رابطه‌ی زیر بدست‌آورید:

$$\alpha = \frac{h}{2(n-1)d} \qquad (۶)$$

که در آن d، مطابق شکل۲ ، فاصله‌ی شکاف باریک از دومنشوری و n نمارشکست دومنشوری است. اگر n = ۱/۴۸ باشد، زاویه‌ی رأس منشورها را از رابطه‌ی (۶) محاسبه کنید.

چشمه‌ی نور سفید، پالایه و شکاف باریک را از روی پایه‌ی اپتیکی بردارید و نور لیزر را پس از واگراکردن بوسیله‌ی یک عدسی واگرا (f = -10cm) ، مستقیماً روی دومنشوری فرودآورید و فریزهای تداخلی(Interference fringes) را روی میکروسکوپ بیاندازید. آزمایش را با نور این چشمه تکرار کنید و فریزها را با فریزهای قبل مقایسه کنید.



شکل۲- تداخل نور بوسیله‌ی دومنشوری فرنل

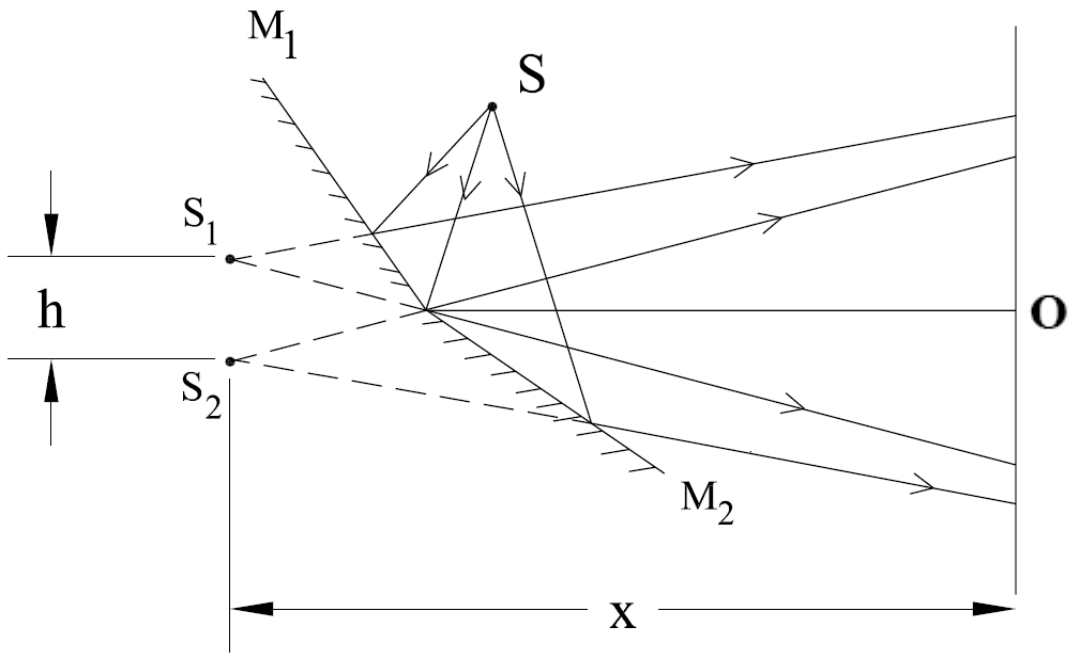
ب) تداخل بوسیله‌ی دوآینه ی فرنل

نور لیزر پس از واگرا کردن بوسیله‌ی یک عدسی واگـرا (Divergent lens) ، بـه‌طـور مسـتقیم روی دوآینـه ی فرنـل فرودآورید تا به طور یکسان آن دو را روشن‌کند.

یک پرده‌ی سفید در محل میکروسکوپ قراردهید. روی این پرده، معمولاً سه لکه دیده‌می‌شود. یکی از لکه‌ها مربـوط بـه نوری است که به‌طور مستقیم از لیزر روی پرده فرودآمده و دو لکه‌ی دیگر مربوط به بازتاب‌های نور روی دوآینـه‌ی فرنـل است.

یکی از آینه‌ها ثابت و آینه‌ی دیگر بوسیله‌ی دو پیچ قابل‌تنظیم است. به‌کمک این پیچ‌هـا زاویـه‌ی دوآینـه را مـی تـوان تغییرداد و دو لکه‌ی یادشده را روی یکدیگر منطبق‌کرد. برای ایجاد فریزهای تداخلی، این دو لکـه مـی‌بایسـت روی هـم قرارگیرند. این فریزها به موازات خطالرأس دوآینه هستند و برای اینکه کاملاً قائم باشند، کافی اسـت یکـی از پـیچ‌هـا را دوباره تنظیم کنیم.

پرده‌ی سفید را بردارید و فریزها را روی میکروسکوپ اندازه‌گیری بیاندازید و پرده‌ی سفید را پشت آن قراردهید. نور پس از گذشتن از میکروسکوپ روی پرده‌ی سفید می‌آید و فریزها به‌صورت بزرگتری روی آن دیده‌می‌شـوند. ماننـد آزمـایش پیش کمیت‌های لازم را اندازه‌گیری کنید و طول‌موج نور لیزر را بوسیله‌ی رابطه‌ی (۴) بدست آورید.



خطای آزمایش

خطاهای آزمایش را ذکر کنید و خطای نسبی و خطای مطلق را روی اندازه‌گیری طول‌موج نـور، در هـر دو آزمـایش و نیـز خطای مربوط اندازه‌گیری زاویه‌ی رأس دومنشوری را بدست‌آورید.

تداخل واقعی

کوتاه زمانی پس از انجام آزمایش دوشکاف توسط یانگ، ایرادهایی به آن گرفته‌شد، مبنی براینکه فریزهای روشنی که وی مشاهده‌کرده‌است، احتمالاً ناشی از ایجاد تغییرات پیچیده‌ی نور در لبه‌های شکاف‌ها بوده است، و نه به علت تداخل واقعی. از این قرار، نسبت به نظریه‌ی موجی نور هنوز تردید وجود داشت. ولی چند سالی نگذشت که فرنل چندین آزمایش جدید را انجام‌داد که در آنها تداخل دو باریکه‌ای نور چنان تأیید می‌شد که ایرادها و اعراض‌های پیش‌گفته بر آنها وارد نبود، یکی از این آزمایش‌ها، دومنشوری فرنل بود.

پرسش

۱. در آزمایش تداخل نور سفید بوسیله‌ی دومنشوری فرنل، فریز مرکزی سفید است. علت را توضیح دهید.

۲. در همین آزمایش تعداد معدودی فریز تاریک (احتمالاً دو تا) تشکیل می‌شوند و در جای فریزهای تاریک دیگر نور با رنگ‌های مختلف دیده می‌شود. علت این امر را شرح دهید.

۳. در آزمایش با نور سفید، فریزهای روشن رنگی به ترتیب خاصی در طرفین فریز مرکزی تشکیل می‌شوند. علت را شرح دهید. (برای پاسخ دادن به این پرسش‌ها، در صورت نیاز، مبحث تداخل نور سفید را در یک کتاب نورشناسی بخوانید).

۴. در آزمایش تداخل بوسیله‌ی دومنشوری فرنل، فریزهای حاصل از نور سفید و پالایه را با فریزهای حاصل از نور لیزر مقایسه کنید و اختلاف آنها را با استدلال فیزیکی توضیح دهید.

۵. اگر از یک لامپ تخلیه‌ی گازی (مثلاً لامپ جیوه) و یک پالایه به عنوان چشمه‌ی نور استفاده می‌کردید، فریزهای حاصل در مقایسه با فریزهای مربوط به چشمه‌ی سفید و پالایه، و فریزهای حاصل از نور لیزر چگونه می‌بودند؟

۶. روابط (۱)، (۲) و (۶) را اثبات کنید.

آزمایش شماره‌ی (۵)

اندازه‌گیری فریزهای تداخلی مربوط به گوه‌های هوا (کروی و تخت)

و اندازه‌گیری ضخامت ورقه‌های نازک

Measuring interference fringes produced by (Spherical and flat) air wedges and thickness of thin paper

اسحاق نیوتن
۱۷۲۷-۱۶۴۲

سِر اسحاق نیوتن، علاوه بر برپاکردن شالوده‌های علم مکانیک، وقت زیادی را برای مطالعه‌ی نور صرف می‌کرد و حاصل تحقیقات خود را در کتاب مشهورش «اپتیک ***Optics***» منتشر کرده است.

عجیب به نظر می‌رسد که یکی از بارزترین جلوه‌های تداخل نور، یعنی حلقه‌های نیوتن ، باید به حساب پابرجاترین هوادار نظریه‌ی ذره‌ای نور گذاشته شود. امروزه، کشف حلقه‌های نیوتن را به رابرت هوک نسبت می‌دهند.

تعریف: هرگاه دو سطح شیشه‌ای به گونه‌ای روی یکدیگر قرارگیرند که لایه‌ای از هوا با ضخامت‌های مختلف بین آن دو به وجود آید، در اصطلاح این لایه‌ی هوا را «گوه ی هوا» (Aerial wedge)، می‌نامند. اگر هر دو سطح یا یکی از آن دو، کروی باشد، گوه را کروی و اگر هر دو تخت باشند، آن را تخت می نامند.

وسایل آزمایش

دستگاه حلقه‌های نیوتن (شامل تیغه‌ی شیشه‌ای تخت و عدسی کوژ)، تیغه‌های شیشه‌ای معمولی و اپتیکی، میکروسکوپ متحرک، لامپ تخلیه‌ی سدیم، پالایه‌ی زرد.

۱. گوه‌ی کروی (حلقه‌های نیوتن)

زمینه‌ی نظری آزمایش

در آزمایش حلقه‌های نیوتن اگر d_m و d_n به ترتیب قطر حلقه‌های تاریک n اُم و m اُم، λ طول‌موج نور و R شعاع خمیدگی عدسی کوژ باشد، می‌توان نشان‌داد که:

$$d_n^2 = 4Rn\lambda \quad , \quad d_m^2 = 4Rm\lambda \qquad (۱)$$

و اگر $n-m=k$ باشد، داریم:

$$d_n^2 - d_m^2 = 4RK\lambda \qquad (۲)$$

بنابراین اگر طول‌موج فرودی معلوم باشد، می‌توان با استفاده از رابطه‌ی (۲) ، شعاع خمیدگی عدسی کوژ را بدست آورد. در صنعت از این روش برای تعیین شعاع خمیدگی سطوح اپتیکی و نیز کیفیت آنها استفاده می‌شود.

شکل۱- دستگاه حلقه های نیوتن

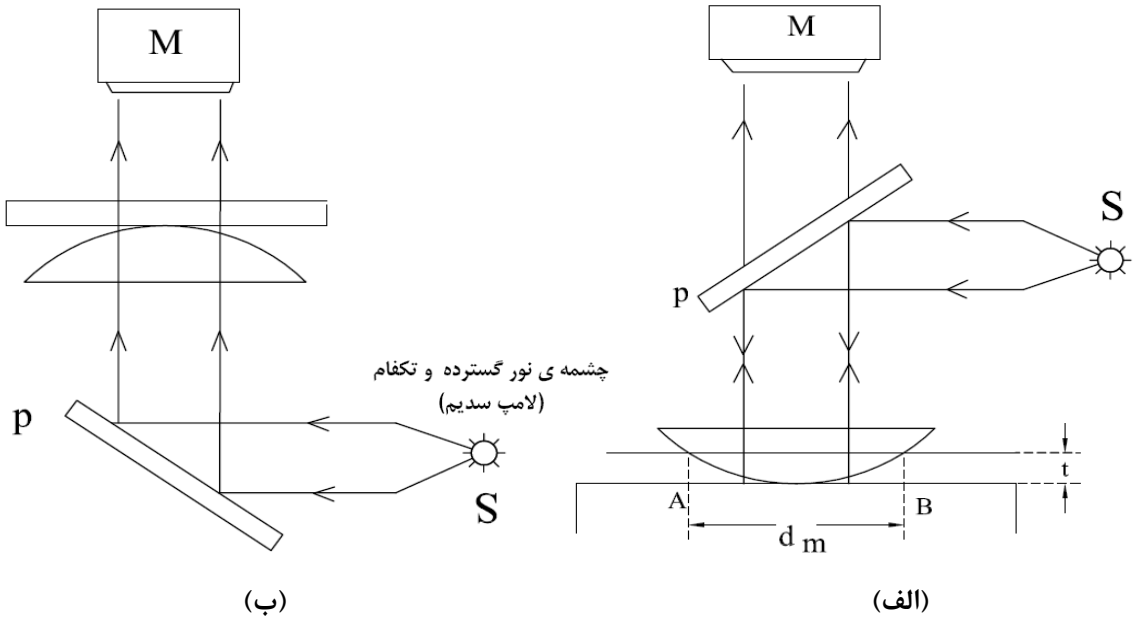
روش آزمایش

دستگاه حلقه‌های نیوتن(Newton's ring device)، را به طور افقی روی میزچه‌ی قابل‌تنظیم قرار دهید، و پیش از روشن‌کردن لامپ تخلیه‌ی سدیم، میزچه را به گونه‌ای تنظیم‌کنید که سطح دستگاه در میکروسکوپ، M ، به وضوح دیده‌شود (شکل۲). سپس تیغه‌ی نیم‌آینه‌ی P را تحت زاویه‌ی ۴۵ درجه بین دستگاه حلقه‌ها و میکروسکوپ قراردهید و لامپ تخلیه‌ی سدیم را روشن کنید. تیغه‌ی نیم‌آینه(Beam spliter)، را بطور دقیق‌تر به‌گونه‌ای تنظیم‌کنید که حلقه‌ها به‌وضوح در میکروسکوپ دیده‌شوند. برای مشاهده‌ی بهتر حلقه‌ها می‌توانید دوباره میزچه را تنظیم‌کنید. این حلقه‌ها خیلی‌ریز هستند و مشاهده و اندازه‌گیری آنها دقت زیادی را می‌طلبد. اگر شعاع خمیدگی عدسی کوژ، R، به اندازه‌ی کافی زیاد باشد، می توان حلقه‌ها را با چشم غیرمسلح نیز دید.

در میدان دید میکروسکوپ، برخی از حلقه‌ها دیده‌می‌شوند؛ پس از مشاهده‌ی حلقه‌ها، میکروسکوپ را بطور افقی حرکت‌دهید. اکنون با حرکت افقی لوله‌ی میکروسکوپ می‌توان قطر این حلقه‌ها را اندازه‌گیری‌کرد، لیکن باید توجه داشت که تاربست میکروسکوپ روی قطر حلقه‌ها حرکت‌کند و نه روی وتر آنها. حد فاصل حلقه‌های نزدیک به مرکز زیاد واضح نیست، لیکن حلقه‌های کناری بخوبی از یکدیگر مجزا شده‌اند. اگر اندازه‌گیری روی حدود ۲۰ حلقه انجام شود، نتایج کاملاً رضایت‌بخش خواهدبود؛ بنابراین باید حلقه‌هایی را انتخاب کرد که بین آنها و مرکز حدود همین تعداد حلقه وجود داشته باشد.

مقادیر بدست‌آمده را می‌توان از روی ورنیه‌ی میکروسکوپ تعیین کرد؛ برای این منظور تاربست میکروسکوپ را روی یک حلقه‌ی تاریک که از مرکز فاصله‌ی زیادی دارد تنظیم کنید (مثلاً روی بیست و پنجمین دایره‌ی تاریک) و ورنیه‌ی میکروسکوپ را بخوانید. سپس تاربست میکروسکوپ را روی حلقه‌ی تاریک بعدی که به مرکز نیز نزدیک‌تر است منطبق‌کنید و ورنیه را بخوانید. این عمل را تا ۲۰ اندازه‌گیری متوالی یا بیشتر ادامه‌دهید (تعداد اندازه‌گیری‌ها باید زوج باشد و در عین حال هر چه بیشتر باشد، نتیجه‌ی دقیق‌تر بدست می‌آید). هنگامی که آخرین اندازه‌گیری انجام شد، میکروسکوپ هنوز در یک سمت مرکز حلقه‌هاست. حال آن را حرکت دهید و حلقه‌های تاریک را تا مرکز بشمارید و

تاربست را در سمت دیگر مرکز روی آخرین حلقه اندازه‌گیری شده قراردهید، و اندازه‌گیری ها را به همان تعداد ذکر شده در بالا (۲۰) تکرار کنید. مقادیر اندازه‌گیری شده را در جدولی گردآوری کنید و محاسبات لازم را انجام دهید.



(الف) **(ب)**

شکل۲- مشاهده‌ی حلقه‌های نیوتن؛ (الف) در بازتاب، (ب) در عبور

شماره‌ی حلقه‌ی تاریک	از چپ	از راست	d_n	d_n^2	شماره‌ی حلقه‌ی تاریک	از چپ	از راست	d_{n-10}	d_{n-10}^2	$d_n^2 - d_{n-10}^2$
n					**n-10**					
n-1					**n-11**					
n-2					**n-12**					
n-3					**n-13**					
n-4					**n-14**					
n-5					**n-15**					
n-6					**n-16**					
n-7					**n-17**					
n-8					**n-18**					
n-9					**n-19**					

با توجه به اینکه طول‌موج متوسط نور خط زرد سدیم مساوی ۵۸۹۳ آنگستروم است، با اســتفاده از میــانگین $d_n^2 - d_{n-10}^2$ شعاع خمیدگی عدسی کوژ را از رابطه‌ی زیر پیدا کنید:

$$R = \frac{\prec d_n^2 - d_{n-10}^2 \succ}{40\lambda} \qquad (۳)$$

تذکر ۱: دستگاه را می‌توان مطابق شکل۲ (ب)، تنظیم‌کرد و فریزهای عبوری را مشاهده‌کرد. لکه‌ی مرکزی فریزهای بازتابی تاریک است، در حالیکه لکه‌ی مرکزی فریزهای عبوری روشن است. همچنین نمایانی فریزهای عبوری از فریزهای بازتابی کمتر است. نمایانی کمتر فریزهای عبوری را با توجه به شدت‌های فریزهای روشن و تاریک به طور تقریبی محاسبه کنید.

تذکر ۲: در حقیقت می‌توان تنها قطر یک حلقه‌ی n اُم را اندازه‌گرفت و محاسبه را به کمک رابطه‌ی (۱)، انجام داد. لیکن این به شرطی است که عدسی کوژ و تیغه‌ی شیشه‌ای تخت درست در یک نقطه در تماس باشند، که البته این چنین نیست و به همین دلیل لکه‌ی مرکزی پهن می‌باشد. بنابراین، قطر حداقل دو حلقه‌ی تاریک که از مرکز فاصله‌ی زیادی دارند، اندازه‌گیری می‌شود و محاسبه به کمک رابطه‌ی (۲)، انجام می‌شود تا خطای مربوط به تماس ناقص حذف شود.

اگر در دستگاه حلقه‌های نیوتن هر دو سطح، انحنا داشته باشند، فرمول عملیات متفاوت خواهدبود. در صنعت معمولاً برای آزمون سطوح، شعاع‌های دو سطح را نزدیک به هم انتخاب می‌کنند، تا فریزها بدون میکروسکوپ هم قابل‌رویت باشند. با چشمه‌ی تکفام(Monochromatic source)، در اتاقک، چند نمونه را مورد مطالعه قراردهید و مشاهدات خود را گزارش کنید.

دو سطح کاو و کوژِ دو عدسی را روی هم قراردهید و فریزها را با میکروسکوپ مشاهده‌کنید.

محاسبه ی خطا

خطای اندازه‌گیری شعاع انحنا را در آزمایش مربوط به گوه‌ی کروی(Spherical wedge)، تعیین کنید.

چون تعداد اندازه‌گیری‌ها زیاد است محاسبه‌ی انحراف‌معیار و مقایسه‌ی آن با خطای محاسبه شده آموزنده است. با استفاده از داده‌ها، انحراف‌معیار اندازه‌گیری‌های R را محاسبه و نتیجه را با خطای اندازه‌گیری، مقایسه کنید.

۲. گوه ی تخت

زمینه‌ی نظری آزمایش

درشکل۳ ، در اثر تداخل پرتوهای نور که از نقاط A و A' بازتاب می‌شوند، در نقطه‌ی A فریز ایجاد می‌شود. فاصله‌ی نقطه‌ی B، که محل تشکیل فریز بعدی است، از نقطه‌ی A به گونه‌ای است که ضخامت اضافی لایه‌ی هوا (BC) مساوی نصف طول‌موج است. بنابراین اگر α زاویه‌ی گوه‌ی هوا باشد، در مثلث ABC داریم:

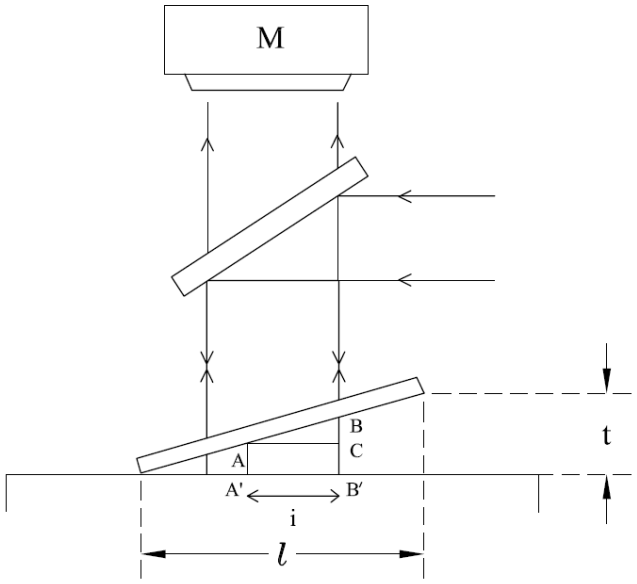
$$\tan\alpha = \frac{BC}{AC} = \frac{BC}{A'B'} = \frac{\lambda/2}{i} \qquad (۴)$$

که در آن i جدایی دو فریز متوالی است. از طرفی اگر t ضخامت تیغه‌ی نازکی باشد که بخواهیم آنرا اندازه‌گیری کنیم، داریم:

$$\tan\alpha = \frac{t}{\ell} \qquad (۵)$$

بنابراین با توجه به رابطه‌ی (۴) و (۵) ، نتیجه می‌شود:

$$t = \frac{\lambda \ell}{2i} \qquad (۶)$$



شکل۳- مشاهده‌ی فریزهای مربوط به گوه‌ی تخت

روش آزمایش

لبه‌ی ورقه‌ی نازک را مطابق شکل۳ ، در زیر انتهای تیغه‌ی شیشه‌ای نازک و سطح شیشه‌ای قراردهید و سپس به روش آزمایش مربوط به حلقه‌های نیوتن فریزهای مربوط به گوه‌ی تخت را در میکروسکوپ مشاهده‌کنید. فریزها همگی به موازات خط‌الرأس گوه هستند. به کمک میکروسکوپ متحرک، پهنای تعداد زیادی فریز متوالی (مثلا ۱۰ یا ۲۰ فریز) را بدست‌آورید و از آنجا فاصله‌ی دو فریز متوالی i، را پیدا کنید. سپس فاصله‌ی لبه‌ی ورقه‌ی نازک تا خط‌الرأس گوه، ℓ ، را بدست‌آورید. با توجه به اینکه طول‌موج خط زرد سدیم ۵۸۹۳ آنگستروم است، ضخامت ورقه‌ی نازک را به کمک رابطه‌ی (۶) پیدا کنید.

محاسبه‌ی خطا

خطای اندازه‌گیری شعاع انحنا را در آزمایش مربوط به گوه‌ی تخت تعیین کنید.

تداخل‌سنج‌ها

یک عینک فروشی، در بازار داد و ستد عدسی، دستگاهی از تیغه‌ها با پیمانه‌های آزمون کروی دقیق را داراست. پس طراح می تواند دقت یک سطح یک عدسی جدید را برحسب تعداد و نظم حلقه‌های نیوتن که می توانند با یک پیمانه‌ی آزمون ویژه دیده‌شوند، مشخص کند. البته امروزه کاربرد تیغه‌های آزمون در ساختن عدسی‌های با کیفیت بالا، جای خود را به شیوه‌های پیچیده‌ای که سروکارش با تداخل‌سنج‌های لیزری است، سپرده است.

پرسش

۱. با توجه به اینکه در اسباب مخصوص حلقه‌های نیوتن $t \prec\prec R$ است، رابطه‌ی (۱) را ثابت کنید.

۲. رابطه‌ی (۴) را اثبات کنید و به کمک آن رابطه‌ی (۵) را بدست آورید.

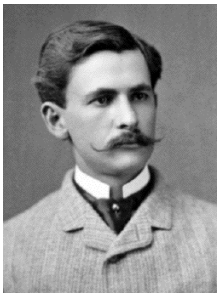
۳. فریزهای عبوری و بازتابی را بوسیله‌ی اسباب نیوتن تشکیل داده و با هم مقایسه کنید. علت اختلاف این دو نوع فریز را (با مطالعه‌ی منابع درسی اپتیک) توضیح دهید.

۴. نشان دهید که در آزمایش حلقه‌های نیوتن، فاصله‌ی دو فریز برای حلقه‌های دور از مرکز رو به کاهش است.

آزمایش شماره‌ی (۶)

اندازه‌گیری طول‌موج نور و نمارشکست هوا بوسیله‌ی تداخل‌سنج مایکلسون و اندازه‌گیری اختلاف دو طول‌موج نزدیک به هم از طریق کمینه‌سازی نمایانی

Measuring wavelength of light and refractive index of air by Michelson interferometer and difference of wavelengths of two close lines by minimizing visibility



ا.ا. مایکلسون
۱۹۳۱-۱۸۵۲

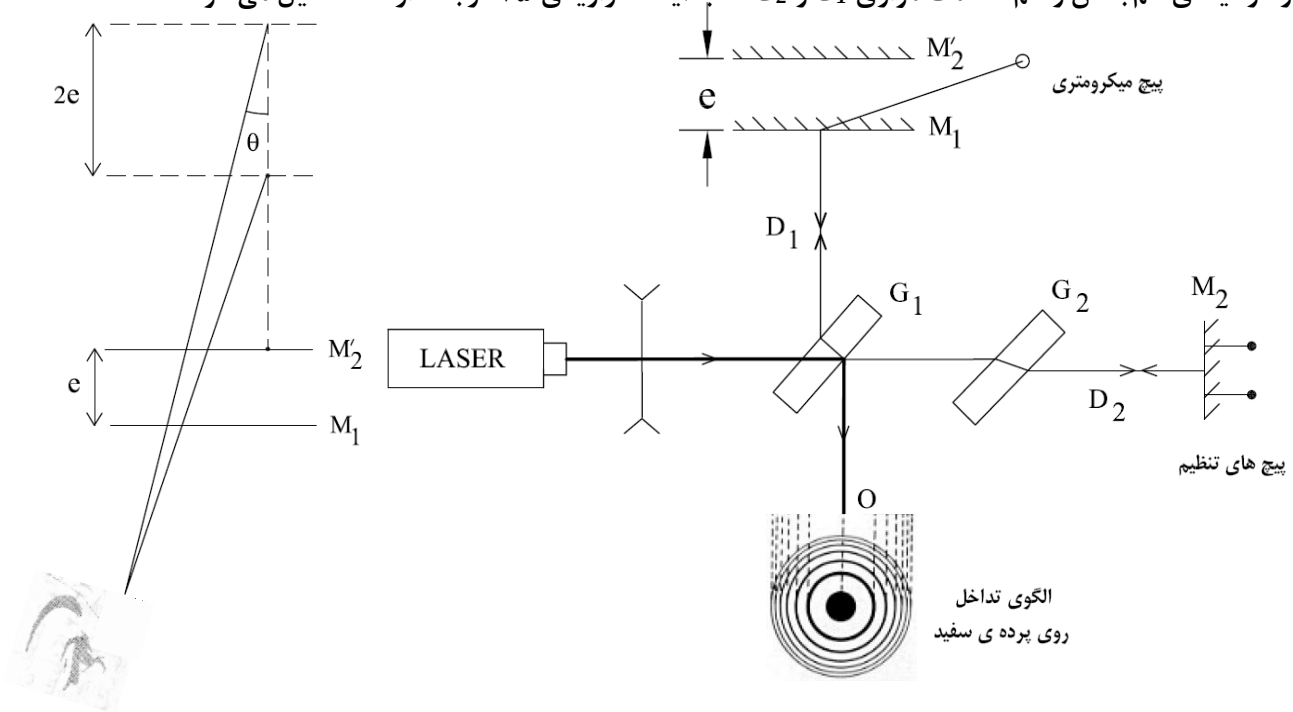
ا.ا. مایکلسون فیزیکدان نابغه‌ی آمریکایی، کارشناس فیزیک و شیمی در آکادمی دریایی‌ای بود که در سال ۱۸۷۳ از همانجا فارغ‌التحصیل شده بود؛ در همان اوایل اشتغال به کارش در آنجا به انجام آزمایش‌هایی برای اندازه‌گیری سرعت نور دست‌زد. سال‌ها بعد، مایکلسون به دریافت جایزه‌ی نوبل (۱۹۰۷) به خاطر کارهایش در زمینه‌ی نور نایل‌شد. طی آخرین دوران حیاتش، استاد فیزیک در دانشگاه شیکاگو بود، و در آنجا بود که آزمایش‌های مشهور تداخل نور را انجام داده است.

وسایل آزمایش

تداخل‌سنج مایکلسون، پرده‌ی سفید، فشارسنج نسبی و فشار سنج مطلق، لیزر هلیوم– نئون، عدسی واگرا، لامپ تخلیه‌ی سدیم.

شرح دستگاه و تنظیم آن

تداخل‌سنج مایکلسون(Michelson interferometer)، مطابق شکل ۱، از دو آینه‌ی M_1 و M_2 که بر هم عمود هستند و دو تیغه‌ی هم‌جنس و هم‌ضخامت موازی G_1 و G_2 که با آینه‌ها زاویه‌ی ۴۵ درجه دارند، تشکیل می‌شود.



شکل ۱- تداخل‌سنج مایکلسون

یکی از سطوح تیغه‌ی G_1، نیم‌آینه است (در شکل ۱، سطح زیری G_1) به گونه‌ای که شدت‌های نور بازتاب شده و عبورکرده از آن با هم برابرند. کار تیغه‌ی جبران‌کننده(**Compensator plate**) G_2،جبران راه‌نوری ناشی از تیغه‌ی G_1 است. آینه‌ی M_2، دارای دو پیچ تنظیم است و به‌کمک آن‌ها می‌توان زاویه‌ی آن را با آینه‌ی M_1 تغییرداد. آینه‌ی M_1 را می‌توان بوسیله‌ی یک پیچ میکرومتری به طور عمود بر سطح آن جابجاکرد و بدین‌ترتیب اختلاف راه‌نوری را تغییر داد. نسبت جابجایی پیچ میکرومتری به جابجایی آینه‌ی متحرک ۵ به ۱ است.

نور چشمه‌ی لیزری بوسیله‌ی تیغه‌ی جداکننده به دو قسمت، تقسیم می‌شود؛ که یکی در امتداد D_1 بازتاب می‌شود. این پرتو پس از فرودآمدن روی آینه‌ی M_1 ، در امتداد اولیه‌ی خود بازتاب می‌شود و از تیغه‌ی G_1 خارج می‌شود. دیگری در امتداد D_2 از تیغه‌ی G_1 عبورمی‌کند و روی آینه‌ی M_2 بازتاب پیدا می‌کند و حین بازگشت روی تیغه‌ی G_1 بازتاب می‌شود. پس اگر در مکان O پرده‌ی سفیدی قرار دهیم، فریزهای تداخلی بر روی آن ایجاد می شوند.

اگر نور به طور عمودی روی دو آینه فرودآید، و تصویر آینه‌ی M_2 در تیغه‌ی G_1 ، را با M'_2 نشان دهیم؛ اختلاف راه‌نوری بین دو پرتو (۱) و (۲) از رابطه‌ی زیر بدست‌می‌آید:

$$\delta = 2D_2 - 2D_1 = 2D'_2 - 2D_1 = 2\mathrm{M_1M'_2}$$

حال اگر $\mathrm{M_1M'_2}$ را با e نشان دهیم، این اختلاف راه‌نوری برای پرتو عمودی چنین می‌شود:

$$\delta = 2e \qquad (۱)$$

رابطه‌ی (۱) نشان‌می‌دهد اگر یکی از آینه‌ها به اندازه‌ی e_1 جابجاشود، اختلاف راه‌نوری به اندازه‌ی $2e_1$ تغییرمی‌کند. برای ناظری که در امتداد O فریزهای تداخلی را می‌بیند، صفحات M_1 و M'_2 مانند صفحات یک تیغه‌ی متوازی‌السطوح عمل می‌کنند. اگر دو آینه‌ی M_1 و M_2 بر هم عمود باشند، M_1 و M'_2 با هم موازی و فریزها دایره‌ای خواهندبود.

اگر دو آینه کمی از حالت عمودی دور شوند، M_1 و M'_2 با هم زاویه‌ی کوچکی می‌سازند و دستگاه کار یک گوه‌ی هوا را انجام می‌دهد، در این حالت فریزها خطی، و به موازات خطالرأس زاویه‌ی بین صفحات M_1 و M'_2 خواهند بود. به منظور تنظیم دستگاه تداخل‌سنج مایکلسون و عمودساختن آینه‌های M_1 و M_2 بر یکدیگر، پرتو موازی لیزر را تحت زاویه‌ی۴۵ درجه مستقیماً روی تیغه‌ی تقسیم‌کننده، فرودآورید. روی پرده‌ی سفید، دو لکه را که یکی مربوط به بازتاب نور از آینه‌ی M_1 و دیگری مربوط به بازتاب از آینه‌ی M_2 است را، از لکه‌های دیگر تشخیص دهید و آنگاه آینه‌ی M_2 را به کمک دو پیچ تنظیم آن طوری میزان‌کنید که این دو لکه روی یکدیگر قرارگیرند؛ در این حالت فریزهای تداخلی مشاهده می‌شوند. حال به کمک یک عدسی واگرا که جلوی لیزر قرارمی‌دهید، پرتو موازی آن را به یک پرتو واگرا تبدیل‌کنید تا تمام سطح دو آینه روشن‌شود و روی پرده‌ی سفید فریزهای حلقه‌ای دیده‌شوند. اگر مرکز حلقه‌ها در وسط پرده‌ی سفید نباشد، کافی است دوباره با اندکی تنظیم پیچ‌های آینه‌ی M_2 ، این مرکز را به وسط پرده‌ی سفید منتقل‌کنید. تداخل‌سنج مایکلسون وسیله‌ای مناسب برای اندازه‌گیری طول‌موج، اختلاف دو طول‌موج نزدیک به هم، نمارشکست هوا یا هر گاز دیگر و نمارشکست تیغه‌های نازک و ده‌ها اندازه‌گیری دیگر می‌باشد.

تذکر: قطعات تداخل‌سنج بسیار ظریف و حساس هستند، با احتیاط کامل با آنها کار کنید و به هیچ‌وجه به آینه‌های آن دست نزنید.

اندازه‌گیری طول‌موج نور

برای اندازه‌گیری طول‌موج نور، فریزهای حلقه‌ای را ایجاد کنید. سپس بوسیله‌ی پیچ میکرومتری آینه‌ی متحرک M_1 را به آهستگی جابه‌جا کنید. برحسب اینکه این آینه در چه جهتی جابه‌جا شود حلقه‌ها به تدریج محو یا ظاهر می‌شوند.

فرض‌کنید مرکز حلقه‌ها تاریک است؛ اگر آینه‌ی متحرک $\frac{\lambda}{2}$ جابجا شود، اختلاف راه‌نوری طبق رابطه‌ی (۱)، به اندازه‌ی λ تغییر می‌کند و مرکز دوباره تاریک می‌شود. حدود ۱۰۰ فریز را که در مرکز محو یا ظاهر می‌شود، شمارش‌کنید و با استفاده از رابطه‌ی زیر:

$$\delta = 2e = N\lambda \qquad (۲)$$

طول‌موج نور را بدست‌آورید. در این رابطه، e جابجایی آینه‌ی متحرک و N تعداد حلقه‌های محو یا ظاهر شده می‌باشد. فرمول شماره‌ی (۱)، برای یک فریز غیرمرکزی به صورت زیر است:

$$2eCos\theta = m\lambda$$

که در آن m ردیف تداخل(Order of interference) و معمولاً عددی است بزرگ و θ زاویه‌ای است میان جهت فریز مورد نظر و خط‌عمود بر آینه‌ها. با استفاده از این فرمول تحقیق کنید که با افزایش یا کاهش قرائت پیچ میکرومتری فریزها به داخل می‌روند یا از مرکز خارج‌می‌شوند. مشاهدات خود را گزارش کنید.

۱. اندازه‌گیری نمارشکست هوا

زمینه‌ی نظری آزمایش

گازی را که می‌خواهیم نمارشکست آن اندازه‌بگیریم، درون یک اتاقک وارد می‌کنیم که طول آن ℓ است و این اتاقک روی یکی از دو مسیر (مثلاً مسیر D_1 در شکل۱) قرار دارد. اگر نمارشکست گاز را با n نشان‌دهیم، تغییر اختلاف راه‌نوری میان مسیرهای (۱) و (۲) به خاطر قراردادن اتاقک در مسیر (۱) ، برابر خواهدبود با:

$$\delta = 2\ell(n-1)$$

و تعداد فریزهایی که جابه‌جا می‌شوند چنین است:

$$N = \frac{2\ell}{\lambda}(n-1)$$

که در آن λ طول‌موج چشمه‌ی نور است. حال اگر فشار درون اتاقک را به اندازه‌ی dp تغییردهیم و تعداد فریزهای جابجا شده را با dN نشان‌دهیم نتیجه می‌شود:

$$\frac{dN}{dp} = \frac{2\ell}{\lambda}\frac{dn}{dp} \qquad (۳)$$

از سوی دیگر، اگر چگالی گاز را با d نشان‌دهیم، طبق قانون گلادستون و دبل داریم:

$$\frac{n-1}{d} = \frac{n_0-1}{d_0} = \text{ثابت} \qquad (۴)$$

که در آن n_0 و d_0 به‌ترتیب ، نمارشکست و چگالی گاز در شرایط متعارفی است، ولی می‌دانیم که:

$$\frac{d}{d_0} = \frac{p/T}{p_0/T_0}$$

که در آن $p_0 =$ ۷۶۰ میلی‌متر جیوه و $T_0 =$ ۲۷۳ درجه کلوین است.

بنابراین رابطه‌ی (۴) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$n-1=(n_0-1)\frac{p}{p_0}\frac{T_0}{T} \qquad (۵)$$

و پس از دیفرانسیل‌گیری:

$$\frac{dn}{dp}=\frac{n_0-1}{p_0}\frac{T_0}{T} \qquad (۶)$$

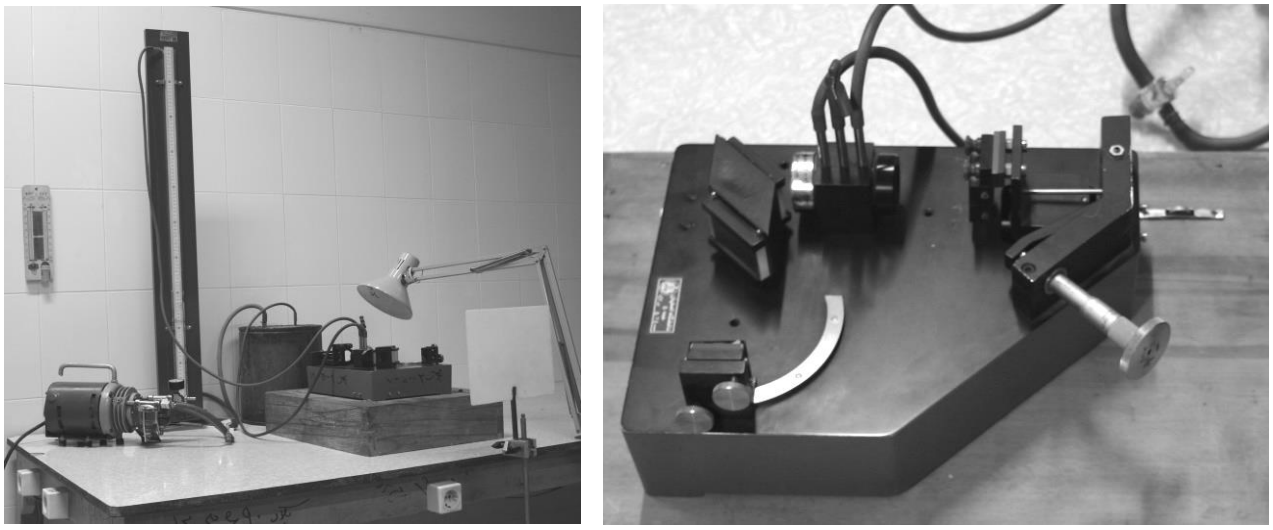
حال اگر مقدار $\frac{dn}{dp}$ را از رابطه‌ی (۶) ، در رابطه‌ی (۳) قرار دهیم نتیجه می‌شود:

$$n_0-1=\frac{\lambda}{2\ell}p_0\frac{T}{T_0}\frac{dN}{dp} \qquad (۷)$$

روش آزمایش

پیش از آغاز آزمایش سطح جیوه را در دو طرف فشارسنج قرائت کنید؛ سپس به یک کمک یک پمپ هوا، فشار هوای درون اتاقک را کمی افزایش‌دهید و روی فشارسنج اختلاف فشار هوای درون اتاقک و فشار هوای آزمایشگاه یعنی dp را قرائت کنید. سپس شیر مخصوص را باز کنید تا فشار هوای اتاقک با فشار خارج یکسان شود و در این حال تعداد فریزهایی که جابه‌جا می شوند، یعنی dN را بشمارید.

با توجه به طول‌موج نور که در آزمایش پیش اندازه‌گیری کردید و اینکه طول اتاقک $\ell =$ 5 سانتی‌متر است، نمارشکست هوای خشک کنار دریا، n_0 ، را به کمک رابطه‌ی (۷) محاسبه کنید. سپس با قرائت فشار مطلق هوا در زمان آزمایش، نمارشکست هوای داخل آزمایشگاه را از رابطه‌ی (۵) محاسبه کنید.



شکل۲- دستگاه تداخل‌سنج مایکلسون برای اندازه‌گیری نمارشکست هوا

محاسبه‌ی خطا

پیچ میکرومتری ۲۵ میلی‌متر جابه‌جا می‌شود و ورنیه‌ی آن تا ۰/۰۱ میلی‌متر مدرج شده است. با توجه به اینکه نسبت جابه‌جایی پیچ میکرومتری به جابه‌جایی آینه‌ی متحرک ۵ به ۱ است، جابه‌جایی این آینه را می‌توان تا ۰/۰۰۲ میلی‌متر قرائت کرد. خطای شمارش حلقه‌ها نیز در آزمایش اول برای هر صد حلقه، 1 ؛ و در آزمایش دوم $\frac{1}{4}$ است.

خطای نسبی و خطای مطلق را در اندازه‌گیری طول‌موج نور و نمارشکست هوا بدست‌آورید.

۲. اندازه‌گیری اختلاف دو طول‌موج نزدیک به هم

زمینه‌ی نظری آزمایش

اگر نور تابیده شده به تداخل‌سنج مایکلسون از دو طول‌موج نزدیک به هم تشکیل‌شده‌باشند، می‌توان نشان داد که با تغییر فاصله‌ی میان صفحات M_1 و M_2، فریزهای مربوط به دو طول‌موج مختلف، که دو گروه فریز تشکیل‌می‌دهند، با سرعت‌های متفاوتی در میدان دید جابه‌جا می‌شوند. در نتیجه، فریزها می‌توانند روی‌هم بیاُفتند یا بین هم قرارگیرند و اُفت و خیز منحنی تغییرات شدت را به ترتیب زیاد و کم کنند. به این ترتیب نمایانی فریزها از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\nu = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (۸)$$

روش آزمایش

لامپ سدیم را به جای لیزر قرار دهید و فریزهای تشکیل شده را با نگاه مستقیم به آینه‌ی M_1، مشاهده کنید. با جابه‌جایی پیچ میکرومتری وضعیتی را بیاورید که فریزها بسختی دیده می‌شوند، یا اصلاً دیده نمی‌شوند. پیچ میکرومتری را بخوانید. با چرخاندن پیچ میکرومتری نمایانی زیاد و سپس کم می شود. پیچ میکرومتری را دوباره در وضعیت کمینه‌ی نمایانی قرائت کنید و اختلاف دو قرائت را پس از تبدیل به مقدار واقعی، در رابطه‌ی (۹) قرار دهید و اختلاف دو طول‌موج یعنی $\Delta\lambda$ را محاسبه کنید.

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_m^2}{2(e_2 - e_1)} \quad (۹)$$

محاسبه‌ی خطا

خطاهای روی‌دهنده در این آزمایش را برشمارید و خطای نسبی و مطلق اختلاف دو طول‌موج را محاسبه کنید.

استاندارد اتمی طول

مایکلسون با استفاده از تداخل‌سنج، طول میله‌ی استاندارد را بر حسب طول‌موج نور سرخ معینی که از چشمه‌ی کادمیم گسیل می‌شود، اندازه‌گیری‌کرد. او نشان داد که متر استاندارد معادل با ۱۵۵۳۱۶۳/۵ برابر طول‌موج نور سرخ کادمیم است، و به همین خاطر بود که در سال ۱۹۰۷ جایزه‌ی نوبل گرفت. با این روش دقت اندازه‌گیری‌ها زیادتر می‌شد؛ چون دیگر احتیاجی نبود که شئ مجهول را با یک شئ استاندارد مقایسه کنند، بلکه می توانستند شئ مجهول را با استفاده از روش‌های تداخل‌سنجی و به معنای مطلق اندازه‌بگیرند.

مزیت دیگر اینکه دسترسی به منابع نور و تداخل‌سنج ها همواره امکان دارد؛ برخلاف میله‌ی متر استاندارد که اگر مُنهدم می‌شد، هرگز قابل‌بازسازی نبود. در سال ۱۹۶۱، بنا به توافق جهانی، یک چنین استاندارد اتمی برای طول اختیار شد.

آزمایش شماره‌ی (۷)

اندازه‌گیری طول‌موج نور بوسیله‌ی تداخل‌سنج فابری– پرو و

اندازه‌گیری اختلاف دو طول‌موج نزدیک به هم از روش بیشترین عدم تطابق

Measuring wavelength and wavelength difference of two close lines by maximum discordance method using Fabry-Perot interferometer

آلفرد پرو (۱۹۲۵-۱۸۶۳)،
چارلز فابری(۱۹۴۵-۱۸۶۷)

چارلز فابری (سمت چپ) و آلفرد پرو (سمت راست)، فیزیکدانان فرانسوی با همکاری یکدیگر تداخل‌سنج فابری-پرو را ساختند. فابری به خاطر تحقیق در زمینه‌ی نور، در ارتباط با پدیده‌های نجومی شناخته می‌شود. وی همچنین لایهٔ اوزُن، بالاترین لایه در جو، را کشف‌کرد. فابری در سال ۱۹۰۴، استاد دانشگاه مارسی و در سال۱۹۲۰، استاد دانشگاه سوربن بود.

تذکر: قطعات تداخل‌سنج بسیار ظریف و حساس هستند؛ با احتیاط کامل با آنها کارکنید و به تیغه‌های نیم‌آینه‌ی آن دست نزنید.

وسایل آزمایش

تداخل‌سنج فابری– پرو ، لامپ‌های تخلیه‌ی جیوه و سدیم ، پالایه‌ی سبز.

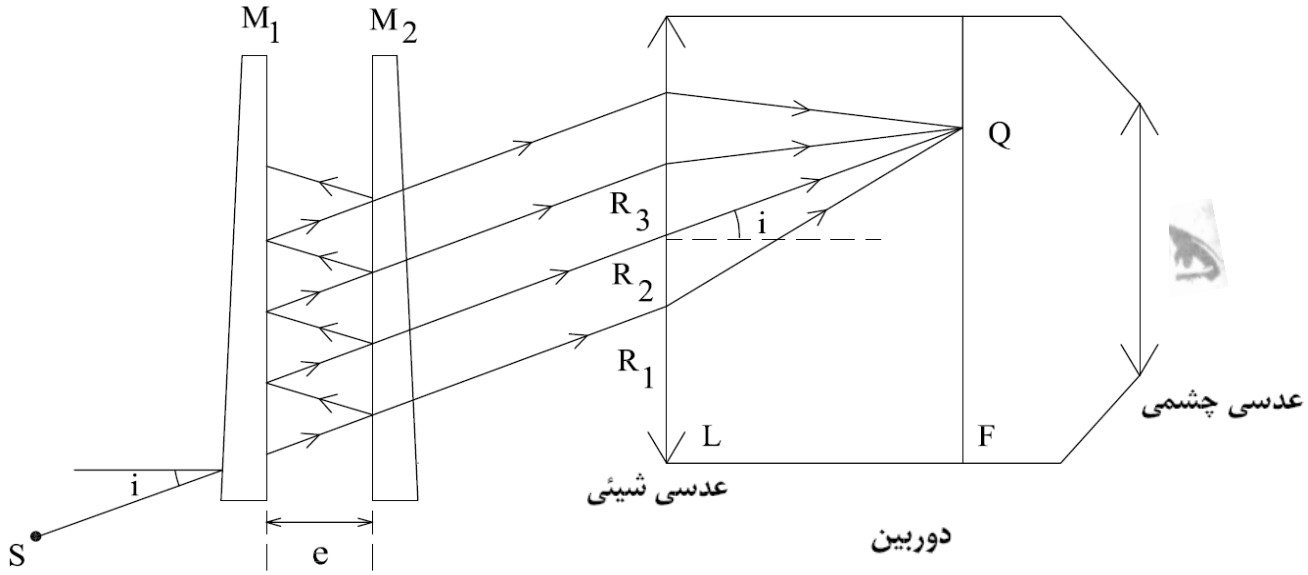
شرح دستگاه و زمینه‌ی نظری آزمایش

دستگاه تداخل‌سنج فابری– پرو(Fabry-Perot interferometer)، به طور کلی از دو تیغه‌ی شیشه‌ای موازی تشکیل می‌شود که یک طرف آنها نیمه‌نقره‌اندود است و در این صورت توان بازتاب آنها از تیغه‌های شیشه‌ای معمولی بیشتر است(در حقیقت امروزه از لایه‌های دی‌الکتریک استفاده می‌شود). سطوحی که نیم‌آینه شده‌اند، باید از نظر نوری کاملاً تخت باشند و به موازات یکدیگر، مقابل هم قرارگیرند. یکی از تیغه‌ها روی قسمت متحرک و تیغه‌ی دیگر روی قسمت ثابت دستگاه سوار شده است. تیغه‌ی متحرک را می‌توان بوسیله‌ی یک پیچ میکرومتری به طور افقی جابه‌جا کرد و فاصله‌ی دو تیغه را بدین‌ترتیب تغییرداد. پشت تیغه‌ی ثابت، دو پیچ مخصوص وجود دارد که به کمک آنها می‌توان زاویه‌ی این تیغه را با تیغه‌ی متحرک تغییر داد و دو تیغه را با یکدیگر موازی کرد.

از یک پرتو فرودی، مطابق شکل ۱، پرتوهای موازی R_3,R_2,R_1 و... ایجاد می‌شوند. اگر تیغه‌ها نیم‌آینه نباشند، شدت این پرتوها به تندی کاهش می‌یابد و برای محاسبه تنها دو پرتو اول را در نظر می‌گیریم. ولی چون تیغه‌ها نیم‌آینه هستند، شدت پرتوهای خروجی کمتر کاهش می‌یابد و برای محاسبه‌ی روشنایی در صفحه‌ی کانونی عدسی L ، باید تمام پرتوهای خروجی را در نظرگرفت. همین زیاد بودن تعداد پرتوها، دلیل باریک بودن فریزهای حلقه‌ای فابری– پرو است.

اختلاف راه‌نوری دو پرتو پی‌درپی در نقطه‌ی Q، روی صفحه‌ی کانونی عدسی شیئی دوربین، برابر است با:

$$\delta = 2neCosi \qquad (۱)$$



شکل ۱- تداخل‌سنج فابری-پرو

برای یک تداخل سازنده(Constructive interference)، یا یک شدت بیشینه در نقطه‌ی *Q* ، باید $2neCosi = m\lambda$ باشد؛ که در آن *m* ردیف تداخل، *n* نمارشکست محیط بین تیغه‌ها، *e* جدایی تیغه‌ها و *i* زاویه‌ی فرودی پرتو است. یک نگاه ساده به این رابطه نشان‌می‌دهد که فریزها در صورت موازی بودن دو آینه، دایره‌ای خواهندبود. حال با توجه به اینکه محیط بین تیغه‌ها هواست (*n*=1)، ردیف تداخل در نقطه‌ی *Q* برابر است با:

$$m = p = \frac{2eCosi}{\lambda} \qquad (۲)$$

و در کانون عدسی، یعنی؛ روی محور نوری دستگاه، ردیف تداخل چنین است:

$$p = \frac{2e}{\lambda} \qquad (۳)$$

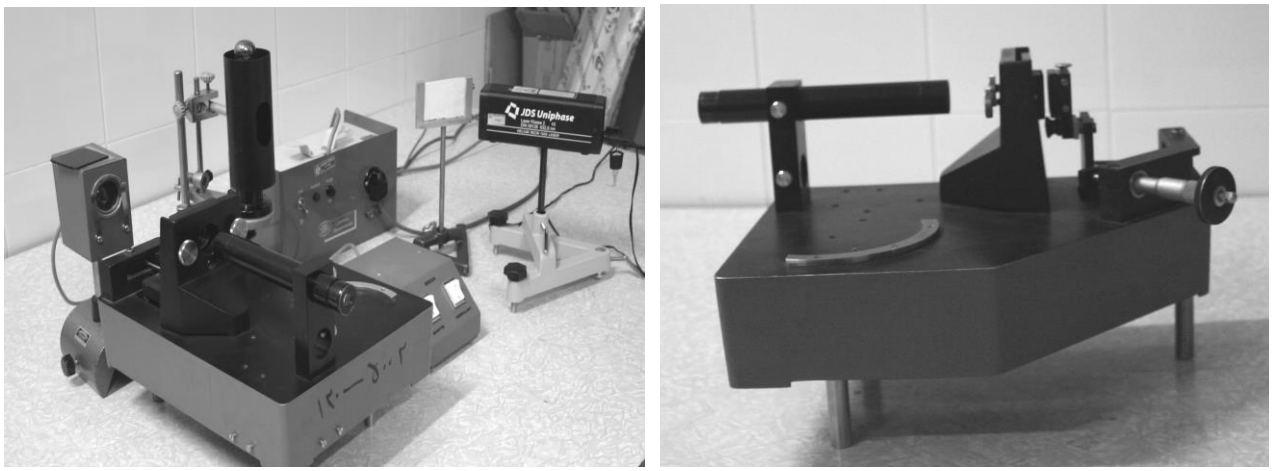
که به آن «فریز مرکزی» نیز می‌گویند.

تنظیم دستگاه

برای مشاهده‌ی حلقه‌های فابری– پرو دو تیغه‌ی تداخل‌سنج را باید دقیقاً با یکدیگر موازی‌کرد. منبع نور سفید را روشن کنید و بازتاب‌های چندگانه را در تیغه‌ها ملاحظه‌کنید. به کمک دو پیچ تنظیم تصاویر چندگانه‌ی رشته‌ی لامپ سفید را روی یکدیگر منطبق‌کنید، در این صورت دو تیغه با هم موازی خواهندبود.

لامپ تخلیه‌ی جیوه که یک شیشه مات مقابل آن قراردارد و عدسی گردآورنده‌ای مقابل تیغه‌ی متحرک در جای خود نصب شده است. لامپ را روشن کنید و دوربین را جلوی تیغه‌ی ثابت، روی دستگاه سوار کنید و حلقه‌های فابری– پرو را در آن مشاهده‌کنید. حلقه‌ها ممکن است به خوبی دیده نشوند، در این صورت پیچ‌های تیغه‌ی ثابت را به آهستگی دوباره تنظیم کنید تا حلقه‌ها به وضوح دیده‌شوند. در مراحل بعدی آزمایش به این پیچ‌ها دست نزنید. آینه‌ی متحرک را نیز نباید

به اندازه‌ای به آینه‌ی ثابت نزدیک کنید که قاب آنها با یکدیگر تماس‌پیداکنند. زیرا علاوه بر اینکه در اثـر فشـار، مـوازی بودن آینه‌ها به هم می‌خورد، امکان شکسته شدن تیغه‌ها نیز وجود دارد.



شکل۲- برپایی تداخل‌سنج فابری-پرو

روش آزمایش

(الف) تعیین طول‌موج خط سبز جیوه

با کم یا زیادکردن جدایی دو تیغه به کمک پیچ میکرومتری، حلقه‌ها در مرکز به ترتیب محو یـا ظـاهرمی‌شـوند. در یـک وضعیت بخصوص اگر فاصله‌ی تیغه‌ها e_1 باشد، ردیف تداخل در مرکز حلقه‌ها p_1، از رابطـه‌ی (۳) بدسـت مـی‌آیـد. اگـر فاصله‌ی تیغه‌ها را به e_2 تغییر دهیم، در مرکز، ردیف تداخل به p_2 تغییر می‌کند. بنابراین:

$$N = p_1 - p_2 = \frac{2(e_1 - e_2)}{\lambda} \qquad (۴)$$

که در آن N تعداد حلقه‌هایی است که به دلیل کم یا زیادکردن جدایی تیغه‌ها، در مرکز، به ترتیب محو یا ظاهرمی‌شوند. با توجه به اینکه نسبت جابجایی پیچ میکرومتری به جابجایی تیغه‌ی متحرک، ۵ به ۱ است؛ طول‌موج خط سبز جیـوه را، بـا شمارش تعداد زیادی حلقه (مثلاً ۱۰۰ حلقه) بدست آورید. برای اینکه فریزهای سبز بهتر دیده شوند، بـه جـای شیشـه‌ی مات یک پالایه‌ی سبز مقابل لامپ تخلیه قرار دهید تا تنها حلقه‌های سبز دیده شوند.

(ب) تعیین اختلاف طول‌موج دو خط زرد سدیم

زمینه‌ی نظری آزمایش

بیناب لامپ سدیم در ناحیه‌ی زرد دارای دو خط است. خطی که طول‌موج کمتری دارد ،شدتش بیشتر از خط دیگر اسـت. می‌توان نشان داد که با تغییر فاصله‌ی e ی دو آینه، دو گروه دایره‌ای که تداخل‌سنج از این فریزها تشکیل می‌دهد نسـبت به هم حرکت می‌کنند، یعنی؛ سرعت ظاهر یا محوشدن دو گروه متفاوت است.

وضعیتی که فریزها دقیقاً بین هم قراردارند با دقت فوق العاده‌ای با چشم انسان قابل‌تشخیص است. این خصوصیت چشـم را «خاصیت ورنیه‌ای» آن می‌نامند.

روش آزمایش

با استفاده از لامپ سدیم حلقه‌های فابری– پرو را مشاهده کنید. پیچ میکرومتری را آنقدر حرکت دهید تا حلقه‌های با شدت زیاد و حلقه‌های با شدت کم درست میان یکدیگر قرارگیرند، پیچ میکرومتری را بخوانید و عدد آن را یادداشت کنید. پیچ میکرومتری را بچرخانید تا حلقه‌هایی با شدت زیاد و کم بر هم منطبق‌شوند و دوباره به فاصله‌ی یکسان از هم قرارگیرند، درجه‌ی پیچ میکرومتری را دوباره یادداشت کنید و با استفاده از رابطه‌ی

$$\lambda_1 - \lambda_2 = \frac{\lambda_m^2}{2(e_2 - e_1)} \qquad (۵)$$

اختلاف طول‌موج‌های این دو خط را بدست‌آورید. در این رابطه λ_m =۵۸۹۳ آنگستروم، میانگین طول‌موج‌های دو خط زرد سدیم است.

محاسبه‌ی خطا

پیچ میکرومتری ۲۵ میلی‌متر جابه‌جا می‌شود و ورنیه‌ی آن تا ۰/۰۱ میلی‌متر مدرج شده‌است. با توجه به اینکه نسبت جابه‌جایی پیچ میکرومتری به جابجایی تیغه‌ی متحرک، ۵ به ۱ است؛ جابجایی این تیغه را می‌توان تا ۰/۰۰۲ میلی‌متر قرائت‌کرد. خطای اندازه‌گیری را در هر دو آزمایش بدست‌آورید.

تداخل‌سنج فابری-پرو

تداخل‌سنج فابری-پرو به سبب دارابودن توان جداسازی زیاد، برای اندازه‌گیری جابجایی‌های ایزوتوپی و ساختار بس‌ریز کاربرد فراوان دارد. هر مولفه‌ی ساختار بس‌ریز، تابع ایری خود را دارد که هر یک نسبت به دیگری جابه‌جاشدگی دارد. گرته‌ی فابری-پرو با دوره‌ای مساوی گستره‌ی آزاد بینابی تکرار می‌شود و همین برای کالیبراسیون بسامدی به‌کارمی‌رود.

همچنین علاوه بر اینکه یک دستگاه طیف‌نمایی با قدرت تفکیک بالاست، به عنوان کاواک تشدید لیزر پایه نیز به‌کارمی‌رود.

پرسش

۱. روابط (۱) و (۵) را ثابت کنید.

۲. ثابت کنید که با حرکت‌دادن آینه‌ی متحرک، فریزهای مربوط به خط پرشدت (با طول موج کوتاه‌تر)، نسبت به فریزهای خط دیگر با سرعت بیشتری حرکت می‌کنند.

۳. در خلال آزمایش با لامپ سدیم از آغاز تا پایان، اگر تغییراتی در پهنا و شکل فریز می‌بینید آنها را در گزارش خود بنویسید و علت آنها را شرح‌دهید.

۴. در چند سطر برتری‌ها، تفاوت‌ها و معایب تداخل‌سنج مایکلسون و تداخل‌سنج فابری – پرو را در اندازه‌گیری اختلاف دو طول‌موج نزدیک به‌هم شرح دهید.

آزمایش شماره‌ی (۸)

پراش بوسیله‌ی تک‌شکاف باریک و روزنه‌ی گرد و مانع باریک

Fraunhofer diffraction by single narrow slit, pinhole and narrow obstacle

ژوزف فون فرانهافر
۱۸۲۶-۱۷۸۷

ژوزف فون فرانهافر، فرزند یک شیشه‌بُر بود. وی شیشه‌تراشی را نزد پدرش آموخت و فعالیت در حوزه‌ی اپتیک را از جنبه‌ی عملی آن آغازکرد. فرانهافر مهارت زیادی در ساختن عدسی‌های نافام(آکرومات) و ابزارهای نوری کسب‌کرد. او ضمن اندازه‌گیری نمارشکست انواع شیشه و تغییرات آن با رنگ یا طول‌موج، به وجود خط زرد D در سدیم پی‌برد و از آن سود جست. وی از نخستین کسانی بود که توری پراش را تولیدکرد. با وجود اینکه خطوط تاریک طیف خورشیدی را نخستین بار ولاستون مشاهده‌کرده‌بود، مشاهده و اندازه‌گیری دقیق آنها تحت تفکیک و پاشندگی عالی، توسط فرانهافر صورت‌گرفت. او ۵۷۶ خط ثبت کرد، که عمده‌ترین آنها را با حروف A تا K و با نام وی مشخص می‌کنند.

وسایل آزمایش

لیزر هلیوم– نئون، پایه‌ی اپتیکی، شکاف باریک، عدسی همگرا با فاصله‌ی کانونی ۱۰۰cm، تعدادی سُره، مانع باریک و روزنه‌ی گرد (سوراخ سوزنی).

زمینه‌ی نظری آزمایش

تجربه نشان می‌دهد که وقتی یک موج به یک روزنه برخورد می‌کند، اگر ابعاد روزنه با طول‌موج قابل مقایسه باشد، موج ضمن عبور از روزنه، پراش(**Diffraction**) پیدا کرده و قانون انتشار مستقیم‌الخط نور اعتبار خود را از دست می‌دهد.

اگر چشمه‌ی نور و پرده‌ای که فریزهای پراش روی آن دیده می‌شوند، در فاصله‌ای از روزنه‌ی پراش‌دهنده قرار داشته باشند که سطوح موج روی روزنه، کروی یا استوانه‌ای باشند، پراش را «پراش فرنل» (**Fresnel diffraction**)، می‌نامند. ولی اگر چشمه‌ی نور و پرده هر دو در فاصله‌ای بینهایت دور نسبت به روزنه قرارداشته‌باشند، و در نتیجه پرتوهایی که به روزنه می‌رسند موازی بوده و جبهه‌های موج (**Wavefront**) روی روزنه تخت باشد، آن را «پراش فرانهافر» (**Fraunhofer diffraction**)، می‌نامند. کاربرد پراش فرانهافر از پراش فرنل بیشتر و بحث نظری آن نیز ساده‌تر است. در این آزمایش پراش فرانهافر را از یک شکاف باریک مورد بررسی قرارمی‌دهیم.

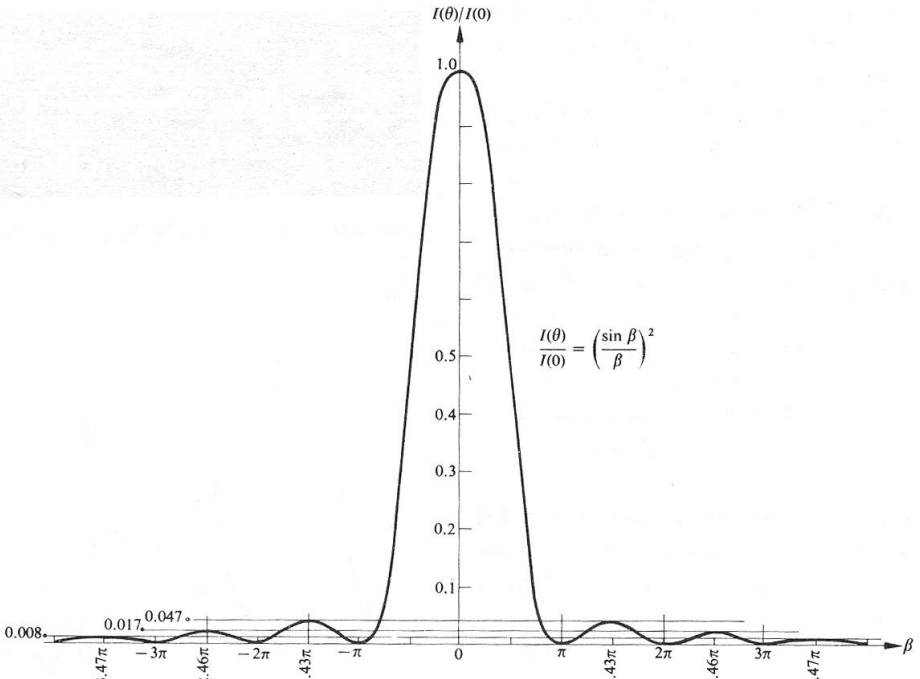
تغییرات شدت نور روی پرده‌ی سفید (شکل ۱)، به صورت زیر نوشته می شود:

$$I = I_0(\frac{Sin\beta}{\beta})^2 \qquad (۱)$$

که در آن I_0 شدت ماکزیمم اصلی و β چنین است:

$$\beta = \frac{\pi\, dSin\theta}{\lambda} \qquad (۲)$$

در رابطه اخیر d پهنای شکاف، θ زاویه‌ی پراش و λ طول‌موج است. مینیمم‌های شدت برای β مساوی $\pm\pi,\ \pm2\pi,\ \pm3\pi$ و ... روی می‌دهند. ماکزیمم‌های شدت تقریباً در نیمه‌ی راه مینیمم‌ها هستند.



شکل ۱- تغییرات شدت نور پراش یافته از یک شکاف باریک، روی پرده‌ای دور از شکاف

روش آزمایش

الف) تک‌شکافی

نور موازی لیزر را مستقیماً روی شکاف باریک فرودآورید. برای اینکه پرده‌ی سفید و شکاف عملاً در بینهایت دور از یکدیگر باشند، یک عدسی همگرا (مثلاً به فاصله‌ی کانونی ۱۰۰ سانتی‌متر) پشت شکاف قراردهید و پرده‌ی سفیدِ مشاهده را، در صفحه‌ی کانونی عدسی بگذارید. روی این پرده، مطابق شکل ۱، دیده می‌شود که پهنای فریز روشن مرکزی دو برابر پهنای فریزهای روشن دیگر است، و وقتی از مرکز دور می‌شویم، شدت فریزهای روشن بتدریج کاهش می‌یابد، و نیز با کاهش دادن پهنای شکاف باریک، پهنای فریزهای روشن افزایش پیدامی‌کند.

اگر فاصله‌ی فریز تاریک شماره‌ی (ردیف) m اُم از مرکز نوارها را با a_m نشان دهیم، با توجه به اینکه زاویه‌ی پراش θ، کوچک است، می‌توان نوشت:

$$Sin\theta = \frac{a_m}{f}$$

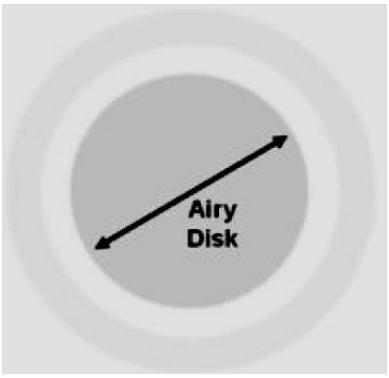
که در آن f فاصله‌ی کانونی عدسی همگرا، یعنی فاصله‌ی عدسی از پرده‌ی سفید است. بنابراین با توجه به رابطه‌ی (۲) و محل مینیمم‌های شدت، نتیجه می‌شود:

$$d = \frac{m\,\lambda\,f}{a_m} \qquad (۳)$$

به کمک رابطه‌ی (۳) پهنای سه شکاف باریک را اندازه‌گیری کنید. طول‌موج نور لیزر هلیوم– نئون ۶۳۲۸ آنگستروم است.

ب) مانع باریک

با استفاده از اصلی موسوم به اصل بابینه (Babinet's principle)، نشان داده می‌شود که شکل گرته‌ی پراش حاصل از یک مانع باریک (Narrow obstacle)، همانند شکل گرته‌ی یک شکاف باریک هم اندازه با مانع است و همان رابطه‌ی شکاف باریک، معادله‌ی (۲)، درباره‌ی آن صادق است.



شکل۲- قرص ایری

پ) روزنه‌ی دایره‌ای

می دانیم که گرته‌ی پراش حاصل از یک روزنه‌ی دایره‌ای (Pinhole)، بصورت یک دایره‌ی مرکزی روشن موسوم به «قرص ایری»(Airy's disk)، و فریزهای تاریک و روشن هم مرکز با آن است. شعاع قرص ایری از رابطه‌ی زیر:

$$\frac{D_A}{2} = R = \frac{1.22\lambda}{d} F \qquad (۴)$$

پیروی می کند؛ که در آن d قطر و ضریب ۱/۲۲ از اولین صفر تابع بسل است.

شکل۳- تک‌شکافی‌ها، روزنه‌ی دایره‌ای، موانع باریک و صافی‌ها

۱. سه مانع باریک در اختیار شما قرارداده شده است. با استفاده از اصل بابینه پهنای هر یک را در یک آزمایش پراش مانند قبل اندازه‌گیری کنید. شکل هر گرته‌ی پراش را به دقت مطالعه‌کنید و شرح‌دهید. گرته‌ی پراش حاصل از باریکترین مانع و باریکترین شکاف را دوباره با هم مقایسه‌کنید و سپس با کمک میکروسکوپ عرض هر یک را اندازه‌بگیرید و با نتایج اندازه‌گیری غیرمستقیم آنها مقایسه‌کنید.

۲. روزنه‌ی کوچکی که در اختیار دارید را مانند آزمایش‌های پیش، مورد بررسی قراردهید و گرته‌ی پراش حاصل را مشاهده کنید. با اندازه‌گیری قطر قرص ایری، قطر روزنه را با استفاده از معادله‌ی (۴) ، محاسبه کنید و نتیجه‌ی بدست آمده را با اندازه‌گیری بوسیله‌ی میکروسکوپ مقایسه کنید.

محاسبه‌ی خطا

برای کاهش خطای آزمایش به جای اندازه‌گیری فاصله‌ی فریز تاریک m اُم از مرکز فریزها، جدایی دو فریز تاریک متناظر را که در دو طرف فریز مرکزی هستند و از یکدیگر تا حد امکان دور هستند را از مرکز فریزها اندازه‌گیری کنید و مقدار میانگین آن‌ها را در نظر بگیرید(زیرا که ممکن است فرود پرتوهای حاصل از پراش، روی پرده موازی نباشد). توجه کنید که پهنای فریز مرکزی دو برابر پهنای فریزهای دیگر است.

خطای نسبی و خطای مطلق را روی اندازه‌گیری پهنای شکاف بدست‌آورید.

لکه‌ی پواسون

فرنل که مهندسی ساختمان خوانده بود، در سی سالگی برای شرکت در یک مسابقه‌ی علمی، مقاله‌ای درباره‌ی پراش نور نوشت و آن را به آکادمی علوم فرانسه تسلیم‌کرد. سیمون پواسون فیزیکدان و ریاضیدان برجسته که درکمیته جوایز آکادمی عضویت داشت، طرفدار سرسخت نظریه‌ی ذره‌ای نیوتن درباره‌ی نور بود و به نظریه‌ی موجی فرنل و دیگران هیچ اعتقادی نداشت. پواسون خاطرنشان‌کرد که نظریه‌ی فرنل وجود لکه روشن را پیشگویی می‌کند(گرچه فرنل خودش مستقیماً به این مطلب اشاره‌ای نکرده بود). صحت این پیش بینی بزودی در آزمایشگاه‌ها تأییدشد.

با آنکه فرنل جایزه را برد، پواسون باز هم نظریه‌ی موجی نور را قبول نداشت و تا ۲۲ سال بعد از این ماجرا هم که زنده بود، هنوز به نظریات نیوتن اعتقاد داشت.

پرسش

۱. در مبحث پراش، از دو نوع پراش گفتگو می‌شود، این دو نوع پراش را مختصراً شرح‌دهید و نوع پراش را در این آزمایش معین کنید.

۲. اصل بابینه را بیان کنید.

۳. در گرته‌ی پراش حاصل از یک شکاف باریک، بیشینه‌های ثانویه در وسط نوارها تشکیل نمی‌شود. محل سه بیشینه‌ی نخست را با استدلال ریاضی و رسم منحنی پیدا کنید.

آزمایش شماره‌ی (۹)

توری پراش و اندازه‌گیری طول‌موج به‌کمک آن

Diffraction grating and measuring wavelength

کریستیان هویگنس
۱۶۹۵-۱۶۲۹

کریستیان هویگنس، ریاضیدان و فیزیکدان آلمانی، قبل از روی‌آوردن به ریاضی و فیزیک در دانشگاه، حقوق می‌خواند. هویگنس بر خلاف نیوتن، طرفدار حرکت نور به صورت موجی بود. او با به‌کاربردن امواج اصلی و موجک‌های ثانوی، قوانین بازتاب و شکست را تشریح‌کرد. وی همچنین بر روی ساخت ساعت‌های دقیق مورد استفاده در نیروی دریایی، کارمی‌کرد.
هویگنس در سال ۱۶۶۳ به عضویت انجمن سلطنتی لندن و در سال ۱۶۶۶ به عضویت انجمن فرانسه درآمد.

شرح دستگاه زاویه‌سنج در آزمایش مربوط به اندازه‌گیری نمارشکست منشور آمده‌است.

وسایل آزمایش

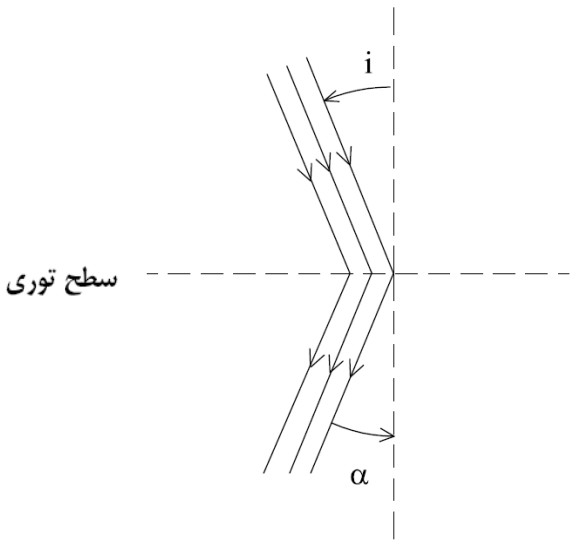
دستگاه زاویه‌سنج، لامپ تخلیه‌ی جیوه، توری تخت از نوع عبوری .

زمینه‌ی نظری آزمایش

توری‌های تخت از یک دسته شکاف‌ها یا شیارهای بسیار باریک همانند و نزدیک به‌هم تشکیل‌می‌شوند. اگر فاصله‌ی دو شکاف متوالی را با a نشان دهیم، تعداد شکاف‌ها در واحد طول، برابر با $n = \frac{1}{a}$ است.

فرض کنید دسته پرتوهایی موازی با طول‌موج λ و تحت زاویه‌ی i روی یک توری فرود آیند. اختلاف راه‌نوری دو پرتویی که تحت زاویه‌ی α از دو شکاف متوالی پراش پیدا می‌کنند (شکل ۱)، برابر است با:

$$\delta = a(Sini - Sin\alpha) \qquad (۱)$$

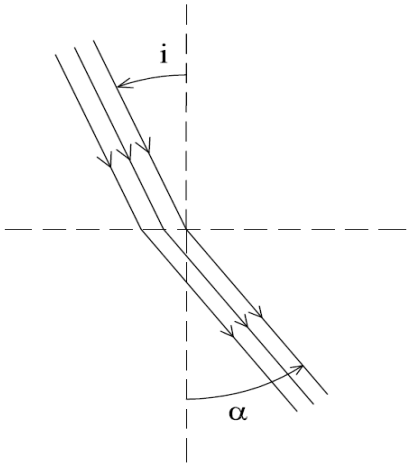


شکل ۱

رابطه‌ی (۱) برای حالتی که α منفی است (شکل ۲)، نیز برقرار است. اکنون اگر پرتوهای پراش یافته را در صفحه‌ی کانونی عدسی شیئی جمع کنیم، هر بار که این اختلاف راه‌نوری مضرب درستی از طول‌موج باشد، در آنجا شدت نور بیشینه است. بنابراین محل فریزهای روشن از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$Sini - Sin\alpha = K\frac{\lambda}{a} = Kn\lambda \qquad (K = 0,\pm1,\pm2,...) \qquad (۲)$$

که در آن k را «مرتبه‌ی (ردیف) بیناب» (**Order of spectrum**)، می‌نامند.



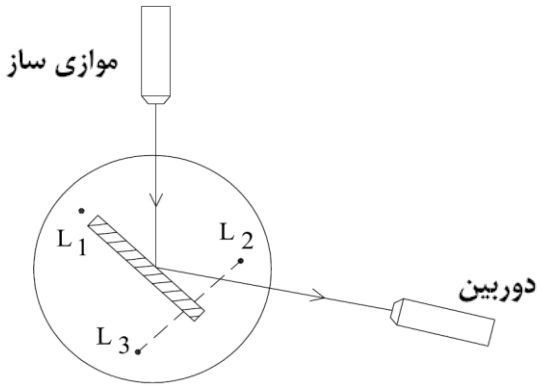
شکل ۲

تنظیم دستگاه

۱. دوربین و موازی‌سازِ زاویه‌سنج را مطابق با دستوری که در آزمایش مربوط به اندازه‌گیری نمارشکست منشور آمده است، برای بینهایت دور کانونی کنید.

۲. توری(**Grating**)، را روی میزچه‌ی زاویه‌سنج در قاب مخصوص خود قراردهید (شکل ۳). دوربین و میزچه را طوری نسبت به هم قراردهید تا نور شکاف که روی توری بازتاب می‌شود، وارد دوربین شده و تصویر شکاف روی تاربست قرارگیرد. اکنون یکی از پیچ های L_2 یا L_3 را طوری تنظیم کنید که این تصویر در صفحه‌ی قائم، در وسط دوربین قرارگیرد. در این صورت سطح توری با محور دوران دوربین، موازی است.

۳. میزچه‌ی زاویه‌سنج را بچرخانید تا سطح توری بر موازی‌ساز تقریباً عمود شود. دوربین را در موقعیتی قراردهید که بتوان بیناب پراش حاصل از عبور نور از توری را در آن دید. اکنون پیچ L_1 را طوری تنظیم کنید که یکی از خطوط بیناب مرتبه‌ی دوم یا سوم در صفحه‌ی قائم ، در وسط دوربین قرارگیرد. در این صورت ، شیارهای توری با محور دوران دستگاه ، موازی می‌شوند.



شکل۳- تنظیم دستگاه زاویه‌سنج با توری

روش‌های آزمایش

الف) روش تابش عمودی

توری را طوری روی میزچه‌ی زاویه‌سنج قراردهید که بر موازی‌ساز عمود باشد. برای این منظور نخست دوربین را در امتداد موازی‌ساز قراردهید. این وضعیت وقتی ایجاد می‌شود که تصویر شکاف موازی‌ساز روی تاربست دوربین قرارگیرد. سپس دوربین را در این حالت محکم کنید. به جای عدسی چشمی دوربین، عدسی چشمی مجهز به لامپ ۶ ولتی را روی دوربین قراردهید. در میدان دید دوربین، تاربست و تصویر آن در توری (بعنوان آینه) دیده می‌شود. با چرخاندن میزچه‌ی زاویه‌سنج که توری روی آن قراردارد، می‌توان تاربست و تصویر آن را روی یکدیگر منطبق‌کرد. در این صورت توری بر دوربین و بنابراین بر موازی‌ساز عمود است. پیچ میزچه را محکم و پیچ دوربین را باز کنید.

با دوران دوربین، بیناب گازِ لامپِ مورد نظر، در آن دیده می‌شود. پرتوهایی که دارای طول‌موج بیشتری می‌باشند ، بیشتر منحرف می‌شوند.

می‌توان بیناب‌های زیادی را دید:

بیناب مرتبه‌ی اول $k=1$

بیناب مرتبه‌ی دوم $k=2$

بیناب مرتبه‌ی سوم $k=3$

جدایی خطوط بیناب مرتبه‌ی سوم، از جدایی بیناب مرتبه‌ی دوم بیشتر است. جدایی خطوط بیناب مرتبه‌ی دوم نیز به نوبه‌ی خود از مرتبه‌ی اول بیشتر است.

در این آزمایش، می خواهیم طول‌موج‌های خطوط جیوه را اندازه‌گیری کنیم. موقعیت دوربین را وقتی خط مورد نظر در هر دو بیناب با مرتبه‌های $\pm k$ ، روی تاربست قرارمی‌گیرد، بخوانید و از آنجا دو برابر انحراف (2α) ، را بدست آورید . همین آزمایش را برای کلیه‌ی خطوط بینابی گازی انجام دهید.

طول موج خط زرد جیوه (۰/۱± ۵۷۹۰/۶) آنگسترم است. نخست به کمک این خط و رابطه‌ی؛

$$Sin\alpha = Kn\lambda \qquad (۴)$$

در بیناب مرتبه‌ی اول، دوم و سوم شمار شیارهای توری در واحد طول n ، را بدست‌آورید. سپس با داشتن n ،طول‌موج بقیه‌ی خطوط جیوه را در هر بیناب اندازه‌گیری کنید.

الف) روش مینیمم انحراف

اندازه‌ی انحراف برابر $i-\alpha$ است. می‌توان ثابت کرد که وقتی $i=\alpha$ است، مقدار مینیم انحراف ،مساوی 2α است(شکل۲)، وپرتوهای فرودی و پراش یافته نسبت به صفحه‌ی توری قرینه هستند.

مانند روش اندازه‌گیری زاویه‌ی مینیمم انحراف در آزمایش مربوط به اندازه‌گیری نمارشکست منشور، زاویه‌ی مینیمم انحراف برای هر خط و در هر دو بیناب با مرتبه‌های $\pm k$ اندازه بگیرید و از آنجا مقدار ۴α را برای هر یک از خطوط بدست آورید. از رابطه‌ی (۲) نتیجه می‌شود:

$$2Sin\alpha = kn\lambda \qquad (۵)$$

با این روش و نیز با داشتن طول‌موج خط زرد جیوه، نخست شمار شیارهای توری را در واحد طول پیدا کرده و سپس با داشتن آن، طول موج بقیه‌ی خطوط جیوه را در هر بیناب اندازه‌گیری کنید.

محاسبه‌ی خطا

دقت دستگاه زاویه‌سنج، یک دقیقه می‌باشد. خطای مکانیکی دستگاه ۰/۵ دقیقه و خطای نقطه گذاری نیز حداکثر ۰/۵ دقیقه است. خطای نسبی و خطای مطلق را در اندازه‌گیری شمار شیارهای توری در واحد طول و طول‌موج بقیه‌ی خطوط در بیناب‌های مرتبه‌ی اول، دوم و سوم در هر دو روش بدست‌آورید.

ساخت توری

توری‌های واقعی که در مطالعه‌ی طیف‌ها به‌کارمی‌روند، عبارتند از شیارهای ظریفی که بوسیله یک الماسه‌ی نوک تیز، روی سطوح تخت شیشه‌ای برای تولید توری تراگسیل و یا غالباً روی سطح آینه‌ای صیقل یافته‌ی فلزی برای تولید توری بازتابش تراشیده می‌شوند. تا این اواخر، اکثر توری‌ها روی آلیاژی از مس و قلع به نام اسپکولوم که آلیاژ بسیار سختی است، تراش داده می‌شدند، ولی در روش‌های جدید، شیارها را روی لایه‌های نرمتر، ناشی از تبخیر آلومینیوم ایجاد می‌کنند. این روش نه تنها باعث بازتابش بیشتر در فرابنفش می‌شود، بلکه استهلاک نوک الماسه را هم کمتر می‌کند.

پرسش

۱. بالاترین مرتبه‌ی بیناب را در یک توری به کمک رابطه‌ی (۴) پیدا کنید.

۲. به کمک رابطه‌ی (۲) نشان دهید که در مینیمم انحراف $i = -\alpha$ است.

۳. در روش تابش عمودی ، به جای اندازه‌گیری مستقیم α ، در حقیقت 2α را اندازه‌گیری کردیم ؛ در روش مینیمم انحراف نیز به جای اندازه‌گیری زاویه‌ی انحراف ، که مساوی 2α است ، در حقیقت 4α را اندازه‌گیری کردیم ؛ دلیل این کار را توضیح دهید.

۴. چرا رنگ بیناب مرتبه‌ی صفر ($k=0$) ، همواره با رنگ چشمه‌ی نور یکسان است.

۵. رابطه‌ی (۱) را اثبات کنید.

آزمایش شماره‌ی (۱۰)

اندازه‌گیری توان جداسازی منشور و توری پراش

Measuring the resolving powers of prism and diffraction grating

لُرد ریلی
۱۹۱۹-۱۸۴۲

لُرد ریلی استاد فیزیک دانشگاه کمبریج وانستیتو سلطنتی بریتانیای کبیر بود. با نبوغ ریاضی و بینش فیزیکی گسترده، سهم مهمی در بسیاری از زمینه‌های فیزیک ایفا کرده است. معروفترین کارهای وی در زمینه صوت و پراکندگی نور هستند. او یکی از برندگان جایزه نوبل در سال ۱۹۰۴ بود.

تذکر: شرح دستگاه زاویه‌سنج و تنظیم آن در آزمایش مربوط به اندازه‌گیری نمارشکست منشور آمده است. پیش از انجام این آزمایش زمینه‌های نظری مربوط به اندازه‌گیری نمارشکست منشور و پراش بوسیله‌ی توری را بخوانید.

وسایل آزمایش

دستگاه زاویه‌سنج، منشور شیشه‌ای ۶۰ درجه، توری، لامپ‌های تخلیه‌ی جیوه و سدیم، شکاف باریک با پهنای متغیر.

زمینه‌ی نظری آزمایش

توان جداسازی(Resolving power)، عبارت است از توانایی یک وسیله، برای تمیز دادن دو طول‌موج تقریباً مساوی از یکدیگر. هر اندازه اختلاف طول‌موج‌ها کمتر باشد، برای مجزا ساختن آنها به توان جداسازی بیشتری نیاز است.

«توان جداسازی» یک وسیله بر حسب تعریف، برابر است با نسبت طول‌موج λ، به کمترین فاصله‌ی طول‌موجی $\Delta\lambda$، که می‌تواند از یکدیگر جدا سازد:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \qquad (۱)$$

«پاشندگی زاویه‌ای» (Angular dispersion)، یک وسیله نیز برحسب تعریف، برابر است با نسبت فاصله‌ی زاویه‌ای دو خط به اختلاف طول‌موج‌های آن:

$$D = \frac{\Delta\theta}{\Delta\lambda} \qquad (۲)$$

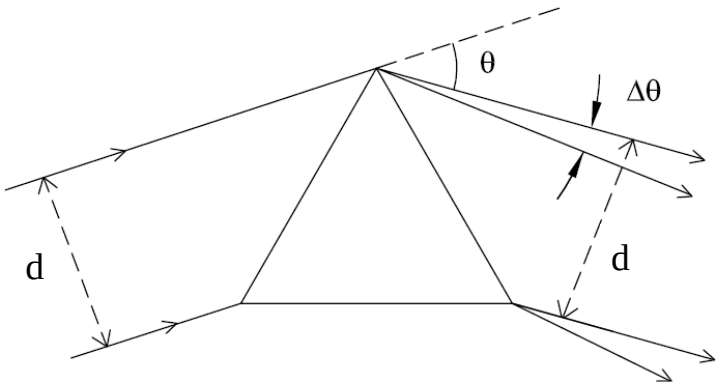
بنابراین، در حالیکه توان جداسازی کمیتی بدون بُعد است؛ بُعد پاشندگی زاویه‌ای، رادیان بر میلی‌متر است.

الف) توان جداسازی منشور

توان جداسازی منشور عبارتست از:

$$R = e\frac{dn}{d\lambda} \qquad (۳)$$

که در آن e طول قاعده‌ی موثر، n نمارشکست و $\frac{dn}{d\lambda}$ پاشندگی منشور است. در این آزمایش، بهتر است که این رابطه را به صورتی بنویسیم که کمیت‌های آن مستقیماً قابل‌اندازه‌گیری باشند. شکل ۱، کمیت‌های مورد نظر را نشان می‌دهد.



شکل ۱

بوسیله‌ی معیار ریلی، دو خط درست موقعی از یکدیگر جدا تشخیص داده‌می‌شوند که ماکزیمم اصلی یکی، روی نخستین مینیمم دیگری قرارگیرد. برای یک روزنه‌ی باریک به پهنای d ، فاصله‌ی زاویه‌ای نخستین مینیمم از ماکزیمم اصلی، $\Delta\theta$، از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\Delta\theta = \frac{\lambda}{d}$$

در این صورت رابطه‌ی (۱) بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = d\frac{\Delta\theta}{\Delta\lambda} = d\frac{d\theta}{d\lambda} \qquad (۴)$$

که در آن به جای نسبت دو کمیت کوچک، $\frac{\Delta\theta}{\Delta\lambda}$، مقدار $\frac{d\theta}{d\lambda}$ را قرار داده‌ایم، زیرا برای تمام مقاصد عملی با یکدیگر برابرند. اگر از منشور در مینیمم انحراف استفاده شود، روابط (۳) و (۴) با یکدیگر معادل خواهند بود.

باید توجه داشت که e و d مقادیر مؤثر هستند. اگر تمام رخ منشور روشن نشود، e و dاز حداکثر خود کمتر و بنابراین توان جداسازی نیز از حداکثرش کمتر خواهد بود.

ب) توان جداسازی توری

توان‌جداسازی توری به کمک رابطه‌ی (۱) و با توجه به معیار ریلی بدست می‌آید. نتیجه چنین است:

$$\boldsymbol{R = kN}$$

که در آن $\mathbf{k}$ مرتبه‌ی بیناب و $\mathbf{N}$ تعداد کل شیارهای توری است که روشن می‌شود. اگر $\mathbf{n}$ شمار شیارهای توری در واحد طول و $\mathbf{d}$ پهنای نوری باشد که توری را روشن می‌سازد ، داریم:

$$\boldsymbol{N = dn}$$

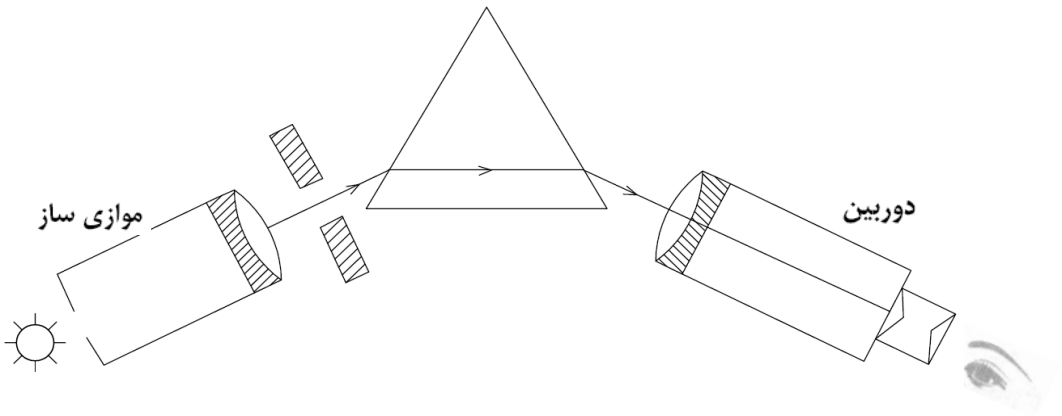
و بنابراین توان‌جداسازی توری بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$\boldsymbol{R = k\,dn} \qquad (۵)$$

روش آزمایش

الف) منشور

دستگاه زاویه‌سنج و منشور ۶۰ درجه‌ای که روی میزچه‌ی آن قرار می‌دهید را، پس از روشن ساختن لامپ جیوه در مقابل شکاف موازی‌ساز، مطابق با دستوری که در آزمایش مربوط به نمارشکست منشور آمده است تنظیم کنید. شکاف با پهنای متغیر، که تیغه‌های آن در حداکثر فاصله از یکدیگر قراردارند، را مطابق شکل ۲، مقابل موازی‌ساز قرار دهید و سپس منشور را در وضعیت مینیمم انحراف، برای دو خط زرد جیوه تنظیم کنید. فاصله‌ی زاویه‌ای خط زرد با طول‌موج بیشتر و خط سبز جیوه را اندازه بگیرید و از آنجا پاشندگی زاویه‌ای منشور را از رابطه‌ی (۲)، برحسب رادیان بر میلی‌متر محاسبه کنید (طول‌موج خطوط مورد نظر در جدول ذیل آمده است).



شکل ۲

ضمن اینکه منشور در وضعیت مینیمم انحراف برای خطوط زرد تنظیم شده است، پهنای شکاف را کم کنید. در اینصورت پهنای هر یک از خطوط نیز به تدریج زیاد می‌شود.

حداقل پهنای شکاف d، را برای اینکه دو خط زرد جیوه هنوز از یکدیگر قابل تشخیص باشند، بدست آورید و آن را به کمک میکروسکوپ متحرک اندازه‌گیری کنید. این آزمایش را ۱۰ بار تکرارکنید و میانگین d را بدست آورید. توان جداسازی نظری را به کمک رابطه‌ی (۴) محاسبه کنید و با مقدار واقعی آن که از رابطه‌ی (۱) بدست می‌آید، مقایسه کنید.

شکاف را تقریباً ببندید تا خطوط زرد و سبز جیوه داخل یکدیگر شوند. واضح است که اکنون توان جداسازی دستگاه از توان جداسازی چشم طبیعی کمتراست؛ زیرا با وجود تداخل خطوط در یکدیگر، هنوز از هم قابل تشخیص هستند.

به جای لامپ تخلیه‌ی جیوه، لامپ تخلیه‌ی سدیم را روشن کنید و آن را مقابل شکاف موازی‌ساز قرار دهید. شکاف متغیر را از جلوی موازی‌ساز بردارید، تا تمام رخ منشور بوسیله‌ی موازی‌ساز روشن شود. اگر دستگاه خوب تنظیم شده باشد، دو خط زرد سدیم به سختی از یکدیگر قابل تشخیص خواهند بود.

	زرد اول	زرد دوم	سبز
جیوه	۵۷۹۰/۶	۵۷۶۹/۶	۵۴۶۰/۷
سدیم	۵۸۹۵/۹	۵۸۸۹/۹	

ب) توری

به جای منشور، توری را روی میزچه قراردهید و آن را مطابق با دستوری که در آزمایش مربوط به پراش بوسیله‌ی توری داده شده است، تحت زاویه‌ی تابش عمودی تنظیم کنید.

توان‌جداسازی توری از منشور بیشتر است و بنابراین اندازه‌گیری جداسازی بوسیله‌ی خطوط زرد جیوه بی ثمر است. از این رو در این آزمایش از لامپ تخلیه‌ی سدیم استفاده می‌شود.

نخست باید شمار شیارهای توری را در واحد طول بدست آورید. برای این منظور با داشتن طول‌موج یکی از خطوط زرد سدیم، زاویه‌ی پراش این خط را در بیناب مرتبه‌ی دوم یا سوم و در دو سوی بیناب مرتبه‌ی صفر اندازه بگیرید و به کمک رابطه‌ی $Sin\alpha = Kn\lambda$ ، n را بدست آورید.

شکاف متغیر را دوباره مطابق شکل ۲، مقابل موازی‌ساز قرار دهید؛ و حداقل پهنای آن را وقتی دو خط زرد سدیم در بیناب مرتبه‌ی اول هنوز از یکدیگر جدا تشخیص داده می‌شود، را بدست آورید و این عمل را پنج بار تکرار کنید و میانگین d_1 را محاسبه کنید. این عمل را برای بیناب‌های مرتبه‌ی دوم و سوم انجام دهید و d_2 و d_3 را بدست آورید.

توان‌جداسازی نظری توری را در بیناب‌های مرتبه‌ی اول، دوم و سوم به کمک رابطه‌ی ۵ ، محاسبه کنید و نتایج را با توان‌جداسازی واقعی که از رابطه‌ی $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$ بدست می‌آید، مقایسه کنید.

جداسازی نظری را برای منشور، توری (بیناب مرتبه‌ی نخست)، وقتی که هر دو به طور کامل روشن می‌شوند، محاسبه کنید.

توری کاو

به غیر از توری‌های تخت، چند توری دیگر نیز وجود دارد. یکی از اینها، توری کاو است. در این توری، شیار زنی بر روی یک سطح کاو انجام می‌شود. توری‌های تخت به عدسی یا آینه‌های موازی‌ساز وکانونی‌ساز نیاز دارند. در حالی که توری‌های کاو می‌توانند عمل موازی‌کردن وکانونی‌کردن و همین طور پاشاندن نور در طول‌موج‌های گوناگون بیناب را به تنهایی انجام دهند. در سالهای اخیر توری‌های تمام نگاشتی نیز زیاد به کار برده شده‌اند. اینها با ثبت‌کردن نوارهای تداخلی حاصل از تقاطع دو باریکه‌ی لیزری تولید می‌شوند.

پرسش

فرض‌کنید منشور بسیار بزرگی به کار رود که توان‌جداسازی با پرتو دایره‌ای که از موازی‌ساز خارج میشود، معین گردد. آیا رابطه‌ی ۴ ، $R = d\frac{d\theta}{d\lambda}$ ، هنوز توان‌جداسازی را معین می‌کند؟ اگر نه، علت تفاوت آن با مقدار نظری چیست؟

آزمایش شماره‌ی (۱۱)

اندازه‌گیری غلظت محلول‌های فعال نوری بوسیله‌ی قطبش‌سنج

و بررسی پاشندگی چرخشی

Measuring the concentration of optically active solutions by polarimeter and investigating rotatory dispersion

اتین لوئیس مالوس
۱۸۱۲-۱۷۷۵

اتین لوئیس مالوس، مهندس ارتش فرانسه بود. کشف قطبش از طریق بازتابش توسط وی، به‌طور اتفاقی و هنگامی‌که با یک بلور کلسیت ، به نور بازتابیده از پنجره‌های کاخ لوکزامبورگ نگاه می‌کرد، روی‌داده‌است.

وسایل آزمایش

دو دستگاه قطبش‌سنج(**Polarimeter**)، یکی با یک پالایه‌ی زرد و دیگری با چهار پالایه‌ی رنگی، محلول گلوکز.

زمینه‌ی نظری آزمایش

برخی از آزمایش‌های مربوط به نور نشان می‌دهند که نور دارای خاصیت موجی است. نظریه‌ی الکترومغناطیس نور نشان می‌دهد که هر پرتو نور از دو بردار الکتریکی و مغناطیسی عمود بر هم تشکیل می‌شود، که صفحه‌ی ارتعاش آنها بر امتداد انتشار نور عمود است. ارتعاش نور عرضی است، و اگر نور طبیعی باشد، امتداد ثابتی ندارد. از نور طبیعی به روش‌های زیر می‌توان نور قطبیده‌ی خطی(**Linearly polarized**)، تولید کرد.

الف) قطبش نور بوسیله‌ی جذب ناهمسانگرد:

بعضی از بلورهای آلی و معدنی این خاصیت را دارند که اگر نور طبیعی روی آنها فرودآید، یکی از مؤلفه‌های ارتعاش را جذب و مؤلفه‌ی عمود بر آن را از خود عبور می‌دهند. بدین‌ترتیب نور عبوری از بلور، قطبیده‌ی خطی است. هرگاه دو بلور کنار هم قرارگیرند، بلور اولی را که نور طبیعی بر آن فرود می‌آید، قطبنده(**Polarizer**) ؛ و بلور دومی را که قطبیدگی را مشخص می‌کند، واکافنده(**Analyzer**)، گویند.

ب) قطبش نور بوسیله‌ی بازتاب:

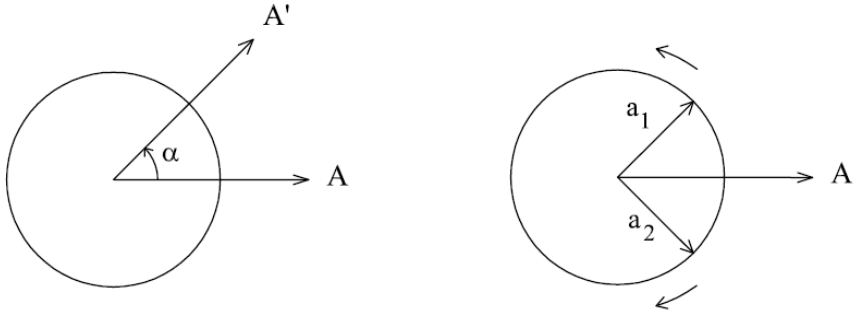
آزمایش مالوس نشان می‌دهد که نور طبیعی در حالت خاصی در اثر بازتاب قطبیده می‌شود. بروستر نیز با یک تجربه ثابت کرد که هرگاه پرتو نور طبیعی تحت زاویه‌ی θ_β روی محیطی با نمارشکست n فرودآید، به گونه‌ای که $\tan\theta_\beta = n$ باشد، پرتو بازتاب شده، قطبیده‌ی کامل است. در این حالت زاویه‌ی بین پرتو بازتاب و شکست ۹۰ درجه است. زاویه‌ی بروستر(**Brewster angle**)، برای شیشه‌ی معمولی ۵۷ درجه است.

ج) قطبش نور بوسیله‌ی بلورهای شکست دوگانه و چرخش قطبیدگی:

هرگاه یک دسته پرتو نور طبیعی روی بلور کلسیت، یاکوارتز، فرودآید؛ قسمتی بازتاب می‌شود و قسمت دیگر به صورت دو پرتو متمایز شکست پیدا می‌کند. این پدیده به شکست دوگانه موسوم است.

پرتوی که از قانون شکست پیروی می‌کند را پرتو عادی(Ordinary beam)، و پرتوی که از این قانون پیروی نمی‌کند را، پرتو غیرعادی(Extraordinary beam)، می‌نامند.

بنا به تشریح پدیدارشناختی فرنل از فعالیت نوری، هر موج خطی را می‌توان برهم نهی‌ای از دو موج دایره‌ای دانست که با سرعت مساوی در دو جهت مخالف می‌چرخند(چپگرد و راستگرد). دامنه‌ی هر کدام از ارتعاش‌های دایره‌ای a_1 و a_2، نصف دامنه‌ی A ارتعاش خطی است. a_1 و a_2 به هنگام خروج در امتداد A به هم می‌رسند و جمع آنها در آن موقع مساوی A است (شکل۱ الف).



(ب) (الف)

شکل ۱

در یک ماده‌ی فعال دو شکستی دایره‌ای که دارای دو نمارشکست است(یکی برای حالت چپگرد و دیگری برای حالت راستگرد)، این دو موج دایره‌ای با سرعت‌های مختلفی انتشار می‌یابند. دو موج دایره‌ای هنگام عبور از نمونه‌ی فعال‌نوری از حالت هم فازی خارج شده و در نهایت a_1 و a_2 به هم نمی‌رسند؛ بلکه، در امتداد دیگری مثلاً A'، به هم می‌رسند که با امتداد A زاویه‌ی α می‌سازد (شکل۱ ب). این خاصیت را «چرخش قطبیدگی» (Rotation of polarization)، می‌گویند. تغییر زاویه‌ی چرخش α نسبت به طول‌موج λ را «پاشندگی چرخشی»(Rotatory dispersion)، می‌نامند.

بیول (Biol) برای پاشندگی چرخشی، رابطه‌ی $\alpha = a + \frac{b}{\lambda^2}$ را داده است که شبیه به رابطه‌ی کوشی برای پاشندگی معمولی است. اگر برآیند A به طرف راست بچرخد، جسم را «راست گردان» و اگر به طرف چپ بچرخد، جسم را «چپ گردان» می‌نامند.

د) قطبش نور بوسیله‌ی محلول‌های فعال:

محلول‌های فعال‌نوری(Optically active solution)، اجسام آلی و دارای کربن غیرمتقارن هستند، مانند انواع قندها، اسید تارتاریک و اسید لاکتیک. این محلول‌ها می‌توانند صفحه‌ی قطبش را بچرخانند. مقدار زاویه‌ی چرخش با غلظت محلول و طول مسیر نور در محلول، متناسب است. اگر غلظت را با C و طول مسیر نور را با ℓ نشان دهیم، زاویه‌ی چرخش به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$\alpha = \rho \ell C \qquad (۱)$$

که در آن α زاویه‌ی چرخش و ρ «توان چرخشی ویژه» (Specific rotation power)، یا «چرخانندگی» است، که برای محلول‌های مختلف متفاوت است.

ه) قطبش نور بوسیله‌ی تیغه‌های چارک موج و نیم موج:

هرگاه نور قطبیده روی یک بلور فرودآید، ارتعاش آن در دو راستای معین، به نام راستاهای برگزیده قابل‌تجزیه است. چون سرعت انتشار این دو مؤلفه، در بلور یکسان نیست؛ موقع خروج، بین دو ارتعاش یک اختلاف فاز φ به وجود می‌آید که به ضخامت بلور و اختلاف دو نمارشکست آن بستگی دارد.

اگر ارتعاش نور قطبیده به صورت $P = P_0 Cos\omega t$ و زاویه‌ی آن با یکی از راستاهای برگزیده α باشد، دو مؤلفه‌ی ارتعاش در موقع ورود به بلور به صورت زیر خواهندبود:

$$x = P_0 Cos\alpha Cos\omega t$$
$$y = P_0 Sin\alpha Cos\omega t \qquad (۲)$$

و در موقع خروج از بلور، به خاطر اختلاف‌فاز بین دو ارتعاش به صورت زیر در می‌آیند:

$$x = P_0 Cos\alpha Cos\omega t$$
$$y = P_0 Sin\alpha Cos(\omega t - \varphi) \qquad (۳)$$

از طرفی می‌دانیم که اختلاف‌فاز φ و اختلاف‌راه نوری δ بوسیله‌ی رابطه‌ی زیر:

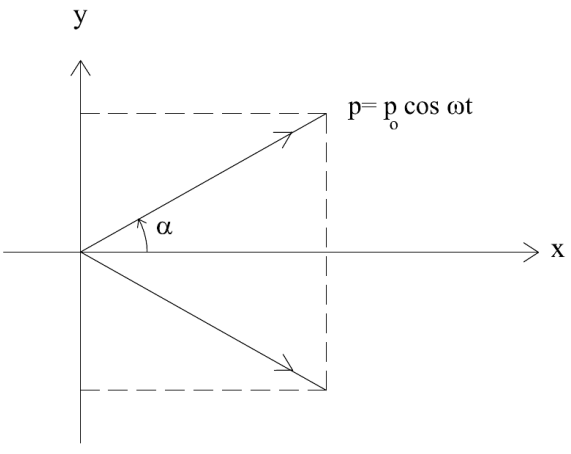
$$\delta = \frac{\lambda\varphi}{2\pi}$$

به یکدیگر مربوط می‌شوند.

اگر $\varphi = \frac{\pi}{2}$ باشد، مقدار اختلاف‌راه، برابر با $\frac{\lambda}{4}$ می‌شود و در این صورت تیغه را چارک‌موج (Quarter wave plate)، می‌نامند و رابطه‌ی (۳)، معادله‌ی پارامتری یک بیضی است. پس در حالت کلی تیغه‌ی چارک‌موج، ارتعاش خطی را به ارتعاش بیضوی تبدیل می‌کند. در حالت خاص، به ازای $\alpha = \frac{\pi}{4}$ و $\varphi = \frac{\pi}{2}$ ارتعاش خروجی دایره‌ای است.

اگر $\varphi = \pi$ باشد، مقدار $\delta = \frac{\lambda}{2}$ می‌شود. چنین تیغه‌ای را نیم‌موج می‌نامند و جهت y در رابطه‌ی (۳)، طبق شکل (۲)، عوض می‌شود و ارتعاش نسبت به راستای برگزیده‌ی x، قرینه می‌شود. پس تیغه‌ی نیم‌موج (Half wave plate)، ارتعاش را نسبت به یکی از راستاهای برگزیده‌ی خود قرینه می‌سازد.

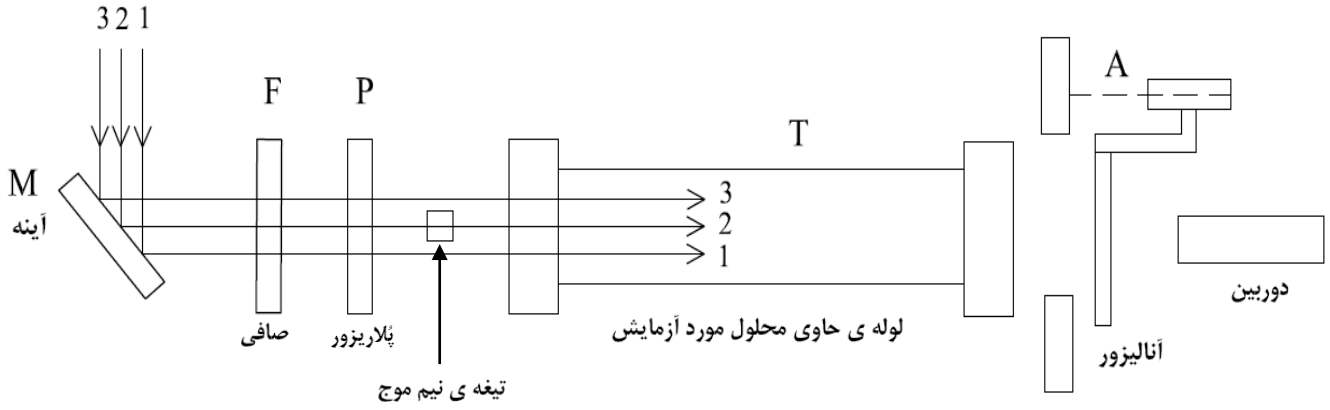
در صورتیکه تیغه، نه نیم‌موج و نه چارک‌موج باشد؛ اختلاف‌فاز φی بین مولفه‌های ارتعاش خروجی از آن، غیرمشخص خواهدبود و ارتعاش خروجی بیضوی با محورهای نامشخص (غیرکانونیکال) خواهد بود.



شکل ۲

۱. شرح دستگاه قطبش‌سنج تک‌رنگ

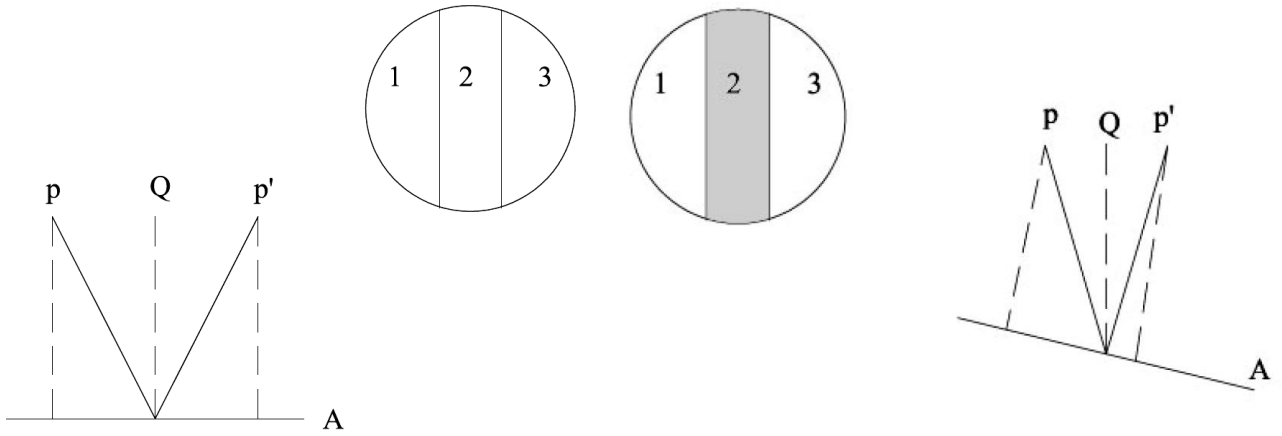
قطبش‌سنج برای اندازه‌گیری غلظت و تعیین راست‌گردی و چپ‌گردی محلول‌های فعال‌نوری به‌کارمی‌رود. ساختمان کلی این دستگاه در شکل ۳، دیده می‌شود.



شکل ۳- ساختمان کلی دستگاه پلاریمتر تک‌رنگ

نوری که بوسیله‌ی آینه‌ی M ، در امتداد محور دستگاه بازتاب می‌شود، نخست از یک پالایه‌ی نور زرد F ، عبور می‌کند و تک‌رنگ می‌شود، و سپس از قطبنده‌ی P ، می‌گذرد و قطبیده می‌شود. بخشی از این نور تک‌رنگ قطبیده (به عنوان مثال پرتو (۲) در شکل)، از یک تیغه‌ی نیم‌موج Q ، عبور می‌کند و وارد لوله‌ی حاوی محلول مورد آزمایش می‌شود. در حالیکه بخش دیگر نور (پرتوهای ۱و۳) بدون گذشتن از این تیغه، وارد لوله می‌شوند. نور پس از خروج از محیط فعال‌نوری از یک واکافنده‌ی A ، می‌گذرد و از طریق دوربین وارد چشم می‌شود.

در دوربین مطابق شکل ۴، سه ناحیه از یکدیگر تشخیص داده می‌شوند. نواحی (۱) و (۳) مربوط به پرتوهایی هستند که از تیغه‌ی نیم‌موج عبورنکرده‌اند و شدت نور آنها همواره با هم برابر است. ناحیه‌ی (۲) مربوط به پرتوی است که از تیغه‌ی نیم‌موج گذشته است و شدت نور آن بسته به زاویه‌ی چرخش واکافنده است و می‌تواند با نواحی (۱) و (۳) برابر شود یا با آن تفاوت داشته باشد.

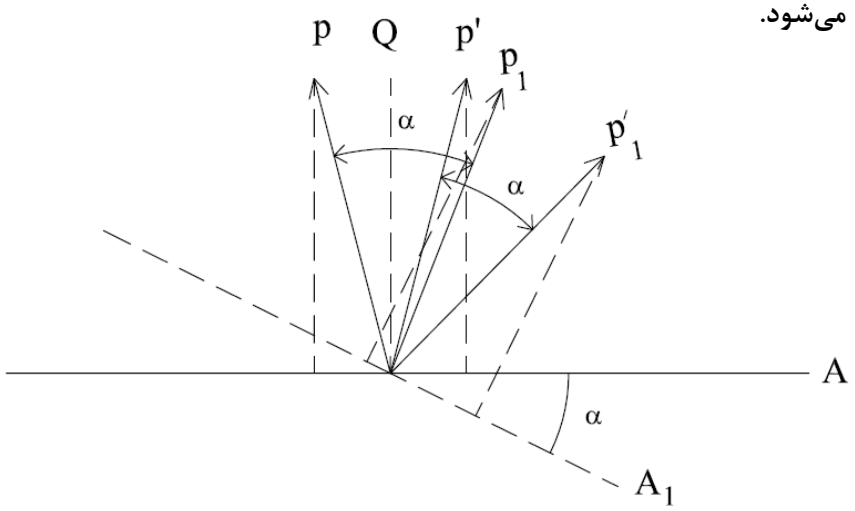


الف : نواحی سه گانه با روشنایی متفاوت **ب : نواحی سه گانه با روشنایی‌های برابر**

شکل ۴- نواحی سه گانه با روشنایی متفاوت و برابر که بوسیله ی چرخش واکافنده ی A تنظیم می‌شود

در شکل ۴، P نمایانگر راستای قطبش نور پس از گذشتن از قطبنده است و P' راستای قطبش پرتو شماره‌ی (۲)، که از تیغه‌ی نیم‌موج گذشته است، می‌باشد و قرینه‌ی P نسبت به یکی از محورهای برگزیده‌ی تیغه‌ی نیم‌موج Q، است. شدت نوری که در دوربین مشاهده می‌شود، با تصاویر P و P' روی راستای محور واکافنده‌ی A، متناسب است. بنابراین با چرخاندن واکافنده می‌توان وضعیتی را مانند شکل (ب) بدست آورد که تصاویر P و P' روی محور عبور آن برابر شوند و در این صورت روشنایی نواحی سه گانه با یکدیگر برابر خواهد شد. این وضع، صفر دستگاه است.

اگر پس از برابری روشنایی نواحی سه گانه، لوله‌ی حاوی محلول مورد آزمایش را در دستگاه قراردهیم، دیده می‌شود که به خاطر چرخش قطبیدگی نور در محلول، برابری روشنایی نواحی سه گانه از بین می‌رود. برای برابر ساختن دوباره‌ی این روشنایی، مطابق شکل ۵، باید واکافنده را به اندازه‌ی زاویه‌ی چرخش α چرخاند و همین زاویه است که بوسیله‌ی قطبش‌سنج اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۵- چرخش قطبیدگی نور در یک محیط فعال‌نوری، P و P' مربوط به وضعیت قطبیدگی نور پیش از واردشدن در محیط فعال و P_1 و P_1' مربوط به قطبیدگی‌ها پس از خروج از لوله‌ی حاوی محلول‌فعال است.

روش آزمایش

۱. چراغ سفید قطبش‌سنج را روشن کنید. بوسیله‌ی چشمی که ابتدا آن را تنظیم می‌کنید، نواحی سه گانه را ببینید. واکافنده را بچرخانید تا روشنایی این نواحی سه گانه در روشنایی کم، یکسان شود. درجه را بخوانید، این درجه صفر دستگاه است.

۲. اکنون غلیظ‌ترین محلول گلوکز را در لوله‌ی مربوط به قطبش‌سنج بریزید به طوری که در آن هوا وجود نداشته باشد و سپس آن را در قطبش‌سنج قراردهید و سرپوش آن را بگذارید. ملاحظه می‌کنید که روشنایی نواحی سه گانه تفاوت دارند. پس از تنظیم دوباره‌ی چشمی، آنالیزور را بچرخانید تا روشنایی یکنواخت شود. زاویه‌ی چرخش را اندازه‌بگیرید و از رابطه‌ی (۱) با معلوم بودن غلظت و طول لوله، توان چرخشی ویژه ρ، را محاسبه کنید.

۳. لوله‌ی دیگری انتخاب کنید که طولش با طول لوله‌ی اولی مساوی نباشد. آزمایش را با همان محلول غلیظ تکرار کنید و رابطه‌ی $\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{\ell_1}{\ell_2}$ را تحقیق کنید.

۴. محلول گلوکز، با غلظتی نصف غلظت قبلی تهیه کنید و رابطه‌ی $\frac{\alpha_1}{\alpha_2}=\frac{C_1}{C_2}$ را برای طول‌های مساوی تحقیق کنید.

شکل۶- وسایل آزمایش

۵. محلولی با غلظت مجهول به شما داده می‌شود، غلظت آن را تعیین کنید.

۶. خطای تعیین غلظت را حساب کنید.

۲. شرح دستگاه قطبش‌سنج چند پالایه‌ای

این قطبش‌سنج بصورت یک استوانه‌ی قائم درست شده که یک لامپ سفید در زیر آن قراردارد و یک قطبنده درست روی آن نصب شده‌است. چهار پالایه‌ی نوری، در یک پالایه‌گیر قرار داده‌شده که می‌توان آن را چرخاند و هر بار یک پالایه را جلوی نورِ سفید آورد. لوله‌ی حاوی محلول مورد آزمایش، بالای این پالایه قرار می‌گیرد و یک واکافنده‌ی متصل به یک صفحه‌ی مدرج، روی آن قرار می‌گیرد.

روش آزمایش

طول موج تقریبی پالایه‌ها را با مقایسه رنگ آنها با نمودار بیناب خورشید در آزمایشگاه،تعیین و یادداشت کنید. صفر دستگاه را پیش از قراردادن محلول، با چرخاندن واکافنده تنظیم کنید؛ به طوری که نوری دیده نشود. سپس غلیظ‌ترین محلولی که در اختیار دارید، در لوله‌ی شیشه‌ای قطبش‌سنج بریزید. محلول را داخل دستگاه قراردهید و واکافنده را با چرخاندن، طوری تنظیم کنید که برای هر رنگ نوری دیده نشود، در این حالت درجه‌ی صفحه‌ی واکافنده را بخوانید و یادداشت کنید. سپس منحنی پاشندگی چرخشی محلول را روی کاغذ میلی‌متری ترسیم کنید.

فعالیت نوری

در ۱۸۱۱م ، دومینیک آراگو فیزیکدان فرانسوی، اولین بار پدیده‌ی شگفتی را مشاهده کرد که امروزه به فعالیت نوری مشهور است. در۱۸۲۲م ، سِر جان دبلیو هرشل اخترشناس انگلیسی، دریافت که رفتار راستگردان و چپگردان در کوارتز، در واقع به دو ساختار بلورشناختی متفاوت مربوط است. کوارتز ذوب شده یا کوارتز گداخته، که هیچکدام بلوری نیستند، از نظر نوری هم فعال نیستند. در مقابل، ترکیبات آلی فراوانی نظیر شکر، تارتاریک اسید، وتورپانتین، محلول یا مایع در طبیعت وجود دارند که از نظر نوری فعال‌اند. فرایند فعالیت نوری، اگر چه در مطالعات نور شناخت مورد توجه ویژه‌ای‌اند، در علوم شیمی و زیست شناسی اثرات گسترده‌ای داشته‌است که این اثرات هنوز ادامه دارد. نخستین سهم عمده‌ی علمی در این رابطه از آن لویی پاستور است که در سال ۱۸۴۸ همراه با رساله‌ی تحقیقاتی دکترای وی ارائه شد.

پرسش

۱. آیا اگر محور تند تیغه‌ی نیم موجی افقی باشد، این تیغه جهت قطبیدگی نور قطبیده‌ی قائم را تغییر می‌دهد؟ جواب خود را با روش ماتریسی جونز بیآزمایید.

۲. نوری که قطبیده‌ی خطی است و نسبت به محور تند افقی تیغه‌ی نیم‌موج زاویه‌ی ۶۳/۴ درجه می‌سازد، توسط تیغه به چه وضع قطبیدگی در می‌آید؟ پاسخ خود را به روش ماتریسی جونز بیآزمایید.

آزمایش شماره‌ی (۱۲)

اندازه‌گیری نمارشکست به روش بروستر،

واکافت قطبیدگی نور و برپایی یک میکروسکوپ قُطبان

Measuring the refractive index by Brewster method, analyzing polarization of light and making a polarizing microscope

سِر دیوید بروستر
۱۸۶۸-۱۷۸۱

سِر دیوید بروستر، استاد فیزیک دانشگاه سن آندریو و سپس رئیس دانشگاه ادینبورو بود. وی که برای درآمدن به خدمت کلیسا درس می‌خواند، با تکرار آزمایش‌های نیوتن روی پراش نور، به مبحث نور علاقه پیداکرد. در شکست دوگانه و تحلیل طیف، کشف‌های مهمی کرد. با وجودی که در زمان وی نظریه‌ی موجی نور به پیشرفت‌های چشمگیری نایل شد، شگفت‌آور است که وی با این نظریه مخالفت می‌کرد.

الف) تعیین نمارشکست به روش بروستر

منظور آزمایش: تعیین نمارشکست چند جسم غیرفلزی شفاف(Transparent)، و غیرشفاف، با وسایل ارزان‌قیمت با دقت ۰/۵ درصد، تعیین قطبیدگی چند چشمه نور با قطبیدگی‌های متفاوت که در همین آزمایش ایجاد می‌شود و آشنا شدن با میکروسکوپ قُطبان و کار با آن.

وسایل آزمایش

لامپ اتومبیل روی یک میله و پایه‌ای با قابلیت تنظیم ارتفاع، صفحه‌ی قطبنده روی پایه‌ای بلند، گونیا، متر، قطعاتی از اجسام صیقل شده که نمارشکست آنها مطلوب است و ظرفی کوچک و تخت برای مایعات مورد اندازه‌گیری.

زمینه‌ی نظری آزمایش

برای توضیح مفصل‌تر زمینه‌ی نظری به مرجع شماره‌ی [۱]، مراجعه کنید.

بطور کوتاه، اگر مؤلفه‌های نسبی بردار الکتریکی پرتو بازتاب یا $r_{\perp}$ و $r_{||}$ را در نظر بگیریم، می‌توان نشان داد که:

$$r_{\perp} = -\frac{Sin(\theta-\varphi)}{Sin(\theta+\varphi)}$$
$$r_{||} = -\frac{\tan(\theta-\varphi)}{\tan(\theta+\varphi)} \qquad (۱)$$

که در آنها θ زاویه‌ی فرودی و φ زاویه‌ی شکست است. دیده می‌شود که وقتی θ مقداری به خود می‌گیرد که حاصل جمع $\theta+\varphi$ برابر با $90°$ شود، $r_{||}$ صفر می‌شود.

می‌توان نشان داد که تحت این زاویه‌ی فرودی، θ_B ، که به آن زاویه‌ی بروستر می‌گویند، داریم:

$$\theta_B = \tan^{-1} n \qquad (۲)$$

که در آن n نمارشکست نسبی محیط بازتابنده است.

نور بازتابیده به جز در $\theta = 0°$ و $\theta = 90°$ قطبیده‌ی جزیی (Partially polarized)، و در θ_B قطبیده‌ی کامل (Completely polarized)، است، یعنی؛ $r_{||}$، یا مؤلفه‌ی TM ، آن صفر است و عمود بر صفحه تابش قطبیده است.

روش آزمایش

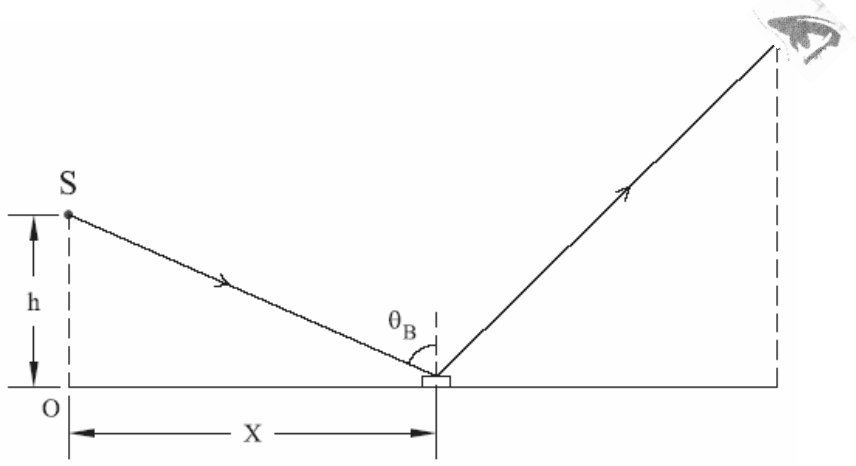
۱. لامپ دوازده ولتی را بر پایه‌ای در ارتفاع حدود ۲۵ سانتی‌متر از سطح میز طوری سوارکنید که رشته‌ی تنگستنی آن افقی باشد.

۲. صفحه‌ی واکافنده (قطبنده) را روی پایه‌ای بلند طوری سوارکنید که صفحه‌ی آن را بتوان عمود بر پرتو بازتابی قرارداده و ارتفاع آن را هم بتوان تنظیم‌کرد.

۳. خط‌کش میلی‌متری را طوری روی میز بطور خوابانیده، نصب کنید که صفر آن درست زیر رشته‌ی لامپ باشد. از لبه‌ی گونیا برای این تنظیم می‌توانید استفاده کنید.

۴. جسم صیقل شده‌ای که می‌خواهید نمارشکست آن را اندازه‌بگیرید در کنار خط‌کش قراردهید و تصویر رشته‌ی لامپ را از پشت صفحه‌ی قطبنده، روی آن پیدا کنید. با چرخاندن صفحه‌ی قطبنده (واکافنده) و جابه‌جا کردن جسم، در حالتی که محور تراگسیل واکافنده قائم است، وضعیتی را بیابید که تصویری دیده نشود. در این حالت مکان تصویر را روی جسم و در کنار خط‌کش بخوانید.

۵. نمارشکست جسم صیقل شده از رابطه‌ی (۲) بدست می‌آید؛



شکل ۱

۶. نمارشکست چند نمونه‌ی جامد و مایع را اندازه‌گیری کنید و منابع خطا را برشمارید و خطای هر آزمایش را محاسبه و در کنار اندازه‌گیری مربوطه در جدولی بنویسید.

ب) واکافت قطبیدگی نور

منظور آزمایش: تعیین چگونگی قطبیدگی نور چند چشمه و انجام تمرین‌هایی در مورد انواع قطبیدگی‌ها.

وسایل آزمایش

لامپ ۱۲ ولتی و پایه‌ی آن، چند صفحه‌ی قطبنده، دو تیغه‌ی چارک‌موجی، یک پرده‌ی سفید، عدسی همگرا.

زمینه‌ی نظری آزمایش

چشمه‌های معمولی نور ناقطبیده‌اند، یعنی؛ بردار الکتریکی آنها در جهت خاصی نیست. این گونه چشمه‌ها را با یک قطبنده می‌توان بطورخطی قطبیده کرد. البته قطبنده‌ها، کامل و بی نقص نیستند، از این رو، دو قطبنده متعامد هنوز مقداری نور را رد خواهندکرد.

تیغه‌ی چارک‌موج بین دو مؤلفه‌ی عمود بر هم بردار الکتریکی یک پرتو قطبیده‌ی خطی، یک تأخیر فاز ۹۰ درجه ایجاد می‌کند و بنابراین در حالت کلی می‌تواند نور قطبیده‌ی بیضوی(Elliptically polarized)، ایجاد کند. اگر راستای قطبیدگی نور قطبیده‌ی خطی با محور افقی زاویه‌ی ۴۵ ± درست کند، نور قطبیده‌ی دایره‌ای(Circularly polarized)، خواهد بود.

روش آزمایش

یک واکافنده را در مقابل چشمه نور قرار داده و راستای محور تراگسیل آنرا به اندازه ۱۸۰ درجه تغییر دهید(روی واکافنده ۱۸۰ درجه به دو بازه صفر تا ۹۰ درجه تقسیم شده است). شدت نور عبوری از واکافنده که روی پرده افتاده است چه تغییری می کند؟ چه نتیجه ای درباره قطبش نور چشمه می گیرید؟

راستای محور تراگسیل واکافنده را روی صفر قرار داده و تیغه چارک موج را مقابل آن قرار دهید. بسته به اینکه چه زاویه ای بین راستای محور تراگسیل واکافنده و راستای محور تند تیغه چارک موج وجود داشته باشد قطبش خروجی از تیغه چارک موج متفاوت خواهد بود. برای تعیین قطبش نور خروجی از تیغه چارک موج یک واکافنده مقابل آن قرار دهید. به این واکافنده در اصطلاح تحلیلگر می گویند. در حالی که محور تراگسیل واکافنده مقابل چشمه نور روی صفر درجه قرار دارد راستای محور تند تیغه چارک موج را در زوایای مشخص شده در جدول زیر قرار دهید. سپس برای هر جهت گیری محور تند، تیغه واکافنده تحلیلگر را به اندازه ۱۸۰ درجه چرخانده و آنچه که برای شدت نور روی پرده اتفاق می افتد را در جدول زیر ثبت کنید.

	زاویه محور تراگسیل تحلیلگر که در آن:				
نوع قطبش نور خروجی از تیغه چارک موج	در صورتی که شدت تغییر نمی کند این ستون را علامت بزنید	شدت صفر مشاهده می شود	بیشینه شدت مشاهده می شود	کمینه شدت مشاهده می شود	راستای محور تند تیغه چارک موج (درجه)
					۰
					۳۰
					۴۵
					۶۰
					۹۰

بر اساس مشاهدات ثبت شده در جدول بالا قطبش نور خروجی از تیغه چارک موجی را مشخص کنید. برای اطمینان از پاسختان با استفاده از رهیافت ماتریسهای جونز بردار جونز قطبش نور خروجی از تیغه چارک موج را بدست آورید.

پ) برپایی میکروسکوپ قُطبان

منظور آزمایش:

برپایی یک میکروسکوپ قُطبان(Polarizing microscope)، با وسایل موجود و مشاهده‌ی چند جسم با آن.

وسایل آزمایش

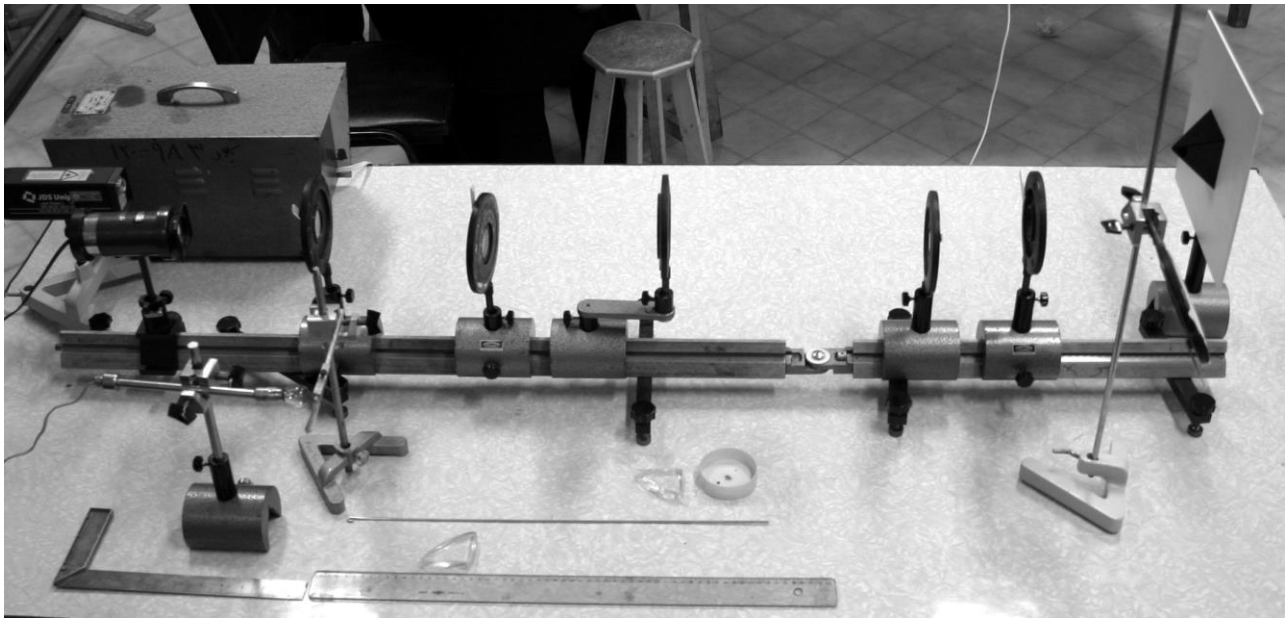
لامپ روشن‌کننده‌ی صحنه، قطبنده، صحنه، عدسی شیئی، واکافنده ، پرده‌ی سفید.

ساختمان میکروسکوپ قُطبان

میکروسکوپ قطبان یک میکروسکوپ معمولی است با این تفاوت که نور پیش از گذشتن از نمونه‌ی مورد مشاهده(صحنه)، از یک قطبنده و همچنین پس از آن و قبل از عبور از عدسی شیئی از یک واکافنده می‌گذرد و سپس وارد چشمی می‌شود یا روی صفحه‌ی تصویر تشکیل تصویر می‌دهد.

روش آزمایش

۱. با استفاده از یک عدسی به فاصله‌ی کانونی ۳۰ سانتی‌متر و قطبنده‌ها و صحنه، میکروسکوپ (بدون چشمی) قُطبان را برپا کنید. تصویر صحنه که یک دهانه‌ی گرد است را روی پرده‌ی سفید درست کنید(با قراردادن یک خط‌کش پلاستیکی این کار به نحو بهتری انجام می‌شود).



شکل۲

۲. دو قطبنده را نسبت به هم چلیپا قرار دهید، تا شدت نور روی پرده صفر شود.

حال اگر یک بلور در محل صحنه قرار دهید (مثلاً یک تیغه‌ی چارک‌موج)، روی پرده نور خواهید دید. علت را توضیح دهید.

۳. در محل صحنه یک ورق یک لایی سلوفان قرار دهید، روی پرده چه می‌بینید؟ سلوفان را بچرخانید و نتیجه‌ی مشاهدات خود را بنویسید. چند بیشینه و کمینه‌ی شدت مشاهده می‌کنید؟ سلوفان یا زرورق خاصیت شکست دوگانه واحتمالاً چرخانندگی دارد.

۴. زرورق را چند لا کنید، در محل صحنه قرار دهید و بچرخانید. مشاهدات خود را بنویسید.

۵. در محل صحنه یک برش سنگ گرافیت قرار دهید و بلورهای آن را به رنگ‌های مختلف روی پرده مشاهده کنید با چرخاندن صحنه تغییراتی را که روی پرده مشاهده می‌کنید، بنویسید.

با توجه به اینکه ضخامت این تیغه‌ی گرافیت همه جا یکسان است، ولی چون اختلاف نمارشکست‌های عادی و غیرعادی برای بلورهای مختلف تیغه متفاوت است، برای نوری با طول‌موج معین، قطبیدگی‌های خروجی برای بلورهای مختلف، بیضی‌هایی با خروج از مرکزهای متفاوت خواهند بود. چون نور سفید به کار برده می‌شود، اختلاف نمارشکست در هر جهتی و برای رنگی خاص، بیضی مخصوص به خود را می‌دهد. بعضی از بلورها، فعالیت‌نوری هم ممکن است از خود نشان دهند و بخشی از تغییر رنگ مربوط به پاشندگی چرخشی آنها باشد.

دریچه‌ی بروستر

کاربرد جالب قطبش از راه بازتاب، دریچه‌ی بروستر است. این عنصر اپتیکی مانند یکی از لایه‌های تحلیل‌گر چندلایه‌ای عمل می‌کند. محیط فعال لیزرگازی غالباً با دو دریچه‌ی بروستر که در دو سر لوله‌ی پلاسمای گاز قرار دارند محدود می‌شود. درکاواک، نور در راه خود به سمت آینه‌های کاواک که در دو انتهای لوله قرار دارند و در برگشت از آنها، مکرراً از این دریچه‌ها می‌گذرد. درهر نوبت، مُد *TM* کاملاً عبور داده می‌شود درحالیکه مُد *TE* بازتاب جزئی پیدا می‌کند (برگشت داده می‌شود). باریکه پس از چندین رفت و برگشت در کاواک لیزر، اساساً بدون ارتعاشات *TE* است و باریکه‌ی لیزری خروجی در مُد *TM* قطبیده است.

پرسش

۱- با چرخاندن یک تحلیلگر در مقابل چشمه هایی با قطبش دایروی و یا نور ناقطبیده هیچ تغییری بر روی شدت نور خروجی از آن مشاهده نمی شود. برای تعیین نوع این قطبش ها چه آزمایشی را ترتیب می دهید؟

۲- اگر تحلیلگر را مقابل چشمه هایی با قطبش نور بیضوی و با قطبیدگی جزئی بچرخانید برای هر دو چشمه تغییرات شدت خروجی از تحلیلگر مشابه بوده و به ازای یک جهتگیری خاص از محور تراگسیل تحلیلگر، شدت عبوری بیشینه می شود. چگونه می توان این دو چشمه را از هم متمایز نمود.

پیوست

جدول نمارشکست‌های عادی وغیرعادی بلورهای دوشکستی

بلورها	n_o	n_E
یخ	۱/۳۰۹	1/310
درّ کوهی	۱/۵۴۴	۱/۵۵۳
زیرکُن	۱/۹۲۳	۱/۹۶۸
روتیل	۲/۶۱۶	۲/۹۰۳
یاقوت کبود	1/598	1/590
نیترات سدیم	۱/۵۸۷	۱/۳۳۶
کلسیت	۱/۶۵۸	۱/۴۸۶
تورمالین	۱/۶۶۹	۱/۶۳۸

طول‌موج‌های لامپ‌های جیوه و سدیم

طول موج‌های لامپ جیوه
۶۲۳۴
۶۱۵۲
۵۷۹۰
۵۷۷۰
۵۴۶۱
۴۳۵۸
۴۰۷۸
۴۰۴۷

خط‌های تشدیدی سدیم (A^o)
5889/95
5895/92

مراجع

1. درآمدی بر نورشناخت نوین؛ تألیف گرانت رِ.فوُلز؛ ترجمه‌ی دکتر احمد کیاست پور، جمشید اُحِبسیان؛ انتشارات دانشگاه اصفهان؛ چاپ چهارم ۱۳۸۲

2. اُپتیک؛ تألیف فرانسیس اِی.جنکینز، هاروی اِی.وایت؛ ترجمه‌ی دکتر حبیب تجلی، نادر رابط؛ مرکز نشر دانشگاهی،تهران؛ چاپ اول۱۳۸۲

3. آشنایی با اُپتیک؛ تألیف فرانک اِل.پدروتی، لنو اِس.پدروتی؛ ترجمه‌ی دکتر محی الدین شیخ الاسلامی؛ مرکز نشر دانشگاهی،تهران؛ چاپ اول۱۳۸۲

4. نورشناخت؛ تألیف یوجین هشت،آلفرد زایاک؛ ترجمه‌ی دکتر پروین بیات مختاری، دکتر حبیب مجیدی ذوالبنین؛ مرکز نشر دانشگاهی،تهران؛ چاپ سوم ۱۳۷۸

5. نورشناسی هندسی کاربردی؛ ترجمه و گردآوری دکتر حمیدرضا فلاح و سید حسن هاشمی؛ انتشارات دانشگاه اصفهان؛ چاپ ۱۳۸۲

6. بینابنمایی اتمی و مولکولی؛ سون سونبرگ؛ ترجمه‌ی دکتر احمد کیاست پور، دکتر محمود سلطان الکُتابی، دکتر محمد حسین نادری؛ انتشارات دانشگاه اصفهان؛ چاپ اول ۱۳۷۶

7. مبانی نور و فیزیک نوین؛ تألیف دیوید هالیدی، رابرت رزنیک؛ ترجمه و تدوین احمد کیاست‌پور، جمشید اُحبسیان ؛ مرکز نشر دانشگاهی،تهران؛ چاپ سوم ۱۳۶۹

8. HANDBOOK OF OPTICS; Volume I&II; Fundamentals, Techniques, and Design;Second edition;Michael Bass;Mc GRAW-HILL, INC.

۹. TABLES OF SPECTRAL LINES; A. N. Zaidel', V. K. Prokof'ev, S. M. Raiskii, V. A. Slavnyi, and E. Ya. Shreider; Translated from Russian; IFI\PLENUM,New York-London.

Isfahan University
Department of Physics

Optics Laboratory Instructions

Bachelor's course